

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA

E.A.P. FARMACIA Y BIOQUÍMICA

**DETERMINACIÓN DE COBRE Y ACIDEZ EN
AGUA POTABLE MEDIANTE
ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN
ATÓMICA Y POTENCIOMETRÍA, Y SU
RELACIÓN CON EL COBRE LIBRE EN SISTEMAS
INTRADOMICILIARIOS DE AGUA POTABLE EN
LIMA METROPOLITANA.**

TESIS

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE:

QUÍMICO FARMACÉUTICO

AUTOR

ALARCÓN MORÁN SANTIAGO MIGUEL ÁNGEL

Lima – Perú

2014

A Dios por darme la esperanza y la vida.

A mis padres Santiago e Irma quienes con paciencia y sacrificio hicieron posible la culminación de mis ideales.

A mis familiares que siempre me apoyan con sus consejos y me ayudan a dar lo mejor de mí.

A mi amigo Héctor quien con su apoyo y esfuerzo contribuyó en lograr mi objetivo.

SANTIAGO

**Mi más sincero
agradecimiento:**

A mi Asesor Q.F. Jesús Víctor Lizano Gutiérrez
por su confianza, apoyo e invaluable
orientación en la realización de mi Tesis, fruto
de mi esfuerzo.

***A los Señores miembros del Jurado Calificador y
Examinador:***

Dr. Mesías Moisés García Ortiz
Mg. José Alfonso Apesteguía Infantes
Mg. Cesar Augusto Canales Martínez
Mg. Manuel Alberto Torres Roca

Por sus acertadas sugerencias que contribuyeron a enriquecer el
valor de este trabajo.

SANTIAGO

INDICE

Pág.

RESUMEN	6
SUMMARY	7
INTRODUCCION	8
HIPOTESIS	10
OBJETIVOS:	11
I. GENERALIDADES	13
1.1 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS:	13
1.2 DINÁMICA DEL MEDIO AMBIENTE	21
1.3 INGESTA DE COBRE	24
1.4 PANORÁMICA SOBRE EL METABOLISMO DEL COBRE EN HUMANOS	25
1.5 MECANISMOS DE LA TOXICIDAD POR COBRE.....	25
1.6 ABSORCION, DISTRIBUCION, METABOLISMO Y ELIMINACION	30
1.7 IMPACTO DEL COBRE EN LA SALUD POBLACIONAL.....	33
1.8 DESCRIPCIÓN DEL SERVICIO DE SANEAMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL PERÚ	34
1.9 DESCRIPCION DEL DISTRITO DE PUENTE PIEDRA.....	38
1.10 DESCRIPCION DEL DISTRITO DE SAN MARTÍN DE PORRES....	41
1.11 DESCRIPCION DEL DISTRITO DE MIRAFLORES.....	44
1.12 ASPECTOS LEGALES.....	47
II. PARTE EXPERIMENTAL.....	50
2.1 OBTENCIÓN Y RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA.....	50
2.2 ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS.....	51

2.3	MATERIALES, REACTIVOS Y EQUIPOS.....	52
2.4	TÉCNICA OPERATORIA.....	53
2.5	MÉTODO ANALÍTICO EMPLEADO.....	54
2.6	OBTENCIÓN DE CURVA DE CALIBRACIÓN.....	56
2.6	DETERMINACION DE pH.....	57
III.	RESULTADOS.....	59
IV.	DISCUSIÓN.....	64
V.	CONCLUSIONES.....	67
VI.	RECOMENDACIONES	68
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	69
VIII.	ANEXOS.....	79

RESUMEN

En los distritos de Puente Piedra, San Martín de Porres y Miraflores se evaluó el nivel de cobre y de pH en 30 muestras de agua potable obtenidas del grifo de cada lugar analizado, con el fin de verificar si se encontraba dentro de los límites permisibles dados por el Reglamento de la Calidad del agua para Consumo Humano, la NTP (Norma Técnica Peruana) N° 214.003 y por la OMS (Organización Mundial de Salud), se eligió al cobre por tratarse de un metal que tiene un escaso o nulo control sanitario en el agua de consumo humano. Para llevar a cabo este estudio se tomaron 30 muestras de agua potable de consumo humano de la siguiente manera: 10 muestras provenían del distrito de Puente Piedra, 10 muestras del distrito de San Martín de Porres y 10 muestras del distrito de Miraflores; se cuantificó por el método espectrofotométrico de absorción atómica de flama, y se midió el pH por el método potenciométrico. Se encontró que la concentración del ion cobre no fue detectable en las muestras de los tres distritos, lo que indica que no exceden la concentración máxima permisible dada por el Reglamento de la Calidad del agua para Consumo Humano (2 mg Cu/L) la Norma Técnica Peruana N° 214.003 (1 mg Cu/L) y la Organización Mundial de la Salud (2 mg Cu/L). El promedio aritmético de pH de las muestras provenientes de Puente Piedra fue de 7,730, el promedio aritmético de pH de las muestras provenientes de San Martín de Porres fue de 7,543 y el promedio aritmético de pH del total de muestras provenientes de Miraflores fue de 7,453; valores que están comprendidas en el rango de valor máximo recomendable dado por el Reglamento de la Calidad del agua para Consumo Humano (pH 6,5 – 8,5), y por la Norma Técnica Peruana 214.003 (pH 6,5 – 8,5).

Palabras clave: Agua potable, agua de consumo humano, concentración de cobre.

SUMMARY

In Puente Piedra, San Martín de Porres and Miraflores districts the level of copper and pH was evaluated in 30 water samples obtained from the tap from each place analyzed in order to verify whether copper was within the permissible limits given by Regulation of Water Quality for Human Consumption, the NTP (Standard Technical Peruvian) N° 214.003 and WHO (World Health Organization), it was decided to select copper because of its little or no sanitary control in water for human consumption. This study was carry out taking 30 samples of water for human consumption as follows: 10 samples from Puente Piedra, 10 samples from San Martín de Porres and 10 samples from Miraflores; it was quantified by atomic absorption spectrophotometry flame, and the pH was measured by the potentiometric method. It was found that the concentration of copper ion was not detectable in samples from the three districts, indicating that no exceed permissible levels given by the Regulation of Water Quality for Human Consumption (2 mg Cu / L), the Standard Technical Peruvian N° 214.003 (1 mg Cu / L) and the World Health Organization (2 mg Cu / L). The pH arithmetic average of samples from Puente Piedra, San Martín de Porres and Miraflores were 7,730, 7,543 and 7,453, respectively. It values are within the maximum range recommended by the Regulations of the Water Quality for Human Consumption (pH 6,5 – 8,5), and the Standard Technical Peruvian N° 214.003 (pH 6,5 – 8,5).

Keywords: water for human consumption, copper concentration.

INTRODUCCIÓN

La distribución de agua potable es uno de los factores más importantes para alcanzar la disminución de los índices de mortalidad y morbilidad en los países en desarrollo. Tradicionalmente, la calidad microbiológica del agua potable ha sido el aspecto que ha generado mayor preocupación en salud pública, sin embargo, el avance en el conocimiento sobre el peligro de la exposición a agentes químicos ha llamado la atención de la población y de las autoridades en los últimos años (1).

El agua es fuente natural de oligoelementos esenciales para la vida, dichos micronutrientes en cantidades ínfimas desempeñan un papel determinante como constituyentes de enzimas o como elementos que intervienen en la síntesis de las mismas. Por esta razón los niveles deficitarios o excesivos de metales esenciales pueden desencadenar graves daños para la salud. Cabe destacar que el zinc, cobre, selenio, cromo y manganeso son algunos de los oligoelementos esenciales para la vida. No obstante, además de los metales esenciales, el agua potable también puede contener metales tóxicos la mayoría de los cuales son metales pesados, que pueden causar una serie de enfermedades en el ser humano (2).

Estos metales pesados se caracterizan por tener efecto bioacumulativo y en concentraciones superiores a las recomendadas han sido responsables de causar daños en el sistema nervioso central y periférico (3, 4, 5), renal (6,7), hematopoyético (8) y esquelético (9,10), algunos también presentan efectos carcinogénicos (7). La gravedad de tales daños depende del grado y tiempo de exposición a dichos elementos.

El cobre al ser un metal esencial para la vida pero también un metal pesado, debería ser objeto de una mayor investigación, así mismo determinar su relación real con otras variables fisicoquímicas del agua potable como es el caso del nivel de pH del agua, parámetro que, en teoría, si disminuyera en sistemas intradomiciliarios de cobre o de sus aleaciones, aumentaría la cantidad de este metal en el agua potable y por lo tanto aumentaría también su biodisponibilidad en humanos (11). Principalmente por esta razón en la última década se han

reportado, en la literatura internacional, algunos impactos en salud derivados de exposición al cobre por consumo de agua potable, lo que ha generado preocupación en diversos grupos de investigadores así como en los países productores de este metal, como es el caso del Perú y de Chile (12,13,14).

El agua puede ser contaminada por metales de manera natural o a través de diferentes procesos de captación, tratamiento, almacenamiento y distribución, afectando su calidad en el punto final de consumo (2,11). Los sistemas intradomiciliarios de agua potable, que comúnmente son utilizados en muchos lugares, presentan reservorios y tuberías con aleaciones metálicas (muchas de las cuales contienen cobre) que pueden afectar la composición química del agua y producir no solo toxicidad por bioacumulación o interferencia bioquímica de este metal pesado, sino debido a sus características bactericidas, modificar o alterar la flora bacteriana intestinal, importante en muchas enfermedades humanas.

HIPÓTESIS

- Existe la presencia de cobre (Cu^{+2}) en agua potable a un pH mayor de 6,5, en concentraciones que superan los límites nacionales permisibles según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (2 mg Cu/L) y/o la Norma Técnica Peruana N° 214.003 (1 mg Cu/L).

OBJETIVOS:

➤ GENERAL:

- a) Determinar la presencia de cobre y el nivel de pH en muestras de agua potable de tres distritos de Lima Metropolitana.

➤ ESPECIFICOS:

- a) Determinar la concentración de cobre en agua potable mediante la metodología de espectrofotometría de absorción atómica por flama en muestras de agua potable de tres distritos de Lima Metropolitana.
- b) Determinar el nivel de pH en muestras de agua potable mediante la metodología de potenciometría, en agua potable de tres distritos de Lima Metropolitana.
- c) Comprobar si las concentraciones de cobre de las muestras de agua potable de tres distritos de Lima Metropolitana sobrepasan los niveles permitidos en la normatividad vigente nacional e internacional.
- d) Comprobar si el nivel de pH de las muestras de agua potable de tres distritos de Lima Metropolitana sobrepasan los niveles permitidos en la normatividad vigente nacional e internacional.
- e) Determinar la relación que tiene el pH con la presencia de cobre en el sistema de agua potable de tres distritos de Lima Metropolitana.

I. GENERALIDADES

1.1 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL COBRE:

El cobre es un elemento simple perteneciente al grupo IB de la tabla periódica, de símbolo Cu, número atómico 29 y masa atómica 63,54. Su punto de ebullición es de 2,310°C y su punto de fusión 1,083°C. Cabe destacar que cristaliza en el sistema cúbico.

Es un metal pesado, blando, dúctil y maleable, de color rojo parduzco y además excelente conductor del calor y de la electricidad, del que se conocen dos isótopos estables y seis radiactivos. Químicamente presenta dos estados de oxidación: +1 y +2. A temperaturas elevadas reacciona con el oxígeno, con el fósforo y con el azufre.

Entre sus compuestos destacan el nitrato de cobre, utilizado como insecticida y como mordiente, y el sulfato de cobre, pigmento empleado en pintura y en la fabricación de pilas eléctricas.

Las aplicaciones del cobre se benefician de su alta conductividad térmica y eléctrica. Se fabrican a partir de cobre: cables e hilos eléctricos para conducciones o para el devanado de motores eléctricos, alambiques, calderas y otros utensilios. Por su resistencia a la corrosión se emplea también en forma de láminas para la construcción de cubiertas. El cobre se emplea también en la confección de canalizaciones de distribución interior de agua, sustituyendo progresivamente a otros materiales como el hierro galvanizado y el plomo en este campo (15).

El cobre puede alearse con otros numerosos elementos metálicos. Las aleaciones de cobre con otros materiales merman su alta conductibilidad térmica y eléctrica; no obstante, las aleaciones permiten obtener características mecánicas o de fusión mejoradas, así como propiedades especiales de resistencia a la corrosión. Por orden de importancia industrial, las principales aleaciones del cobre son: latón, bronce, cuproaluminio, cuproniquel y la alpaca. Sin embargo, y pese a todas estas ventajas de las aleaciones de cobre, para la construcción de tuberías de agua potable se emplea normalmente tuberías de cobre puro, quedando las de aleación para usos industriales.

Con respecto a sus reacciones químicas; en la mayoría de sus compuestos, el cobre presenta estados de oxidación bajos, siendo el más común el +2, aunque también hay algunos con estado de oxidación +1.

Expuesto al aire, más específicamente al oxígeno presente en el aire el color rojo salmón inicial del cobre metálico se torna rojo violeta por la formación de óxido cuproso (Cu_2O) para ennegrecerse posteriormente por la formación de óxido cúprico (CuO).

Luego, si es expuesto por largo tiempo al aire húmedo o en una solución acuosa, se forma una capa adherente e impermeable de carbonato básico (carbonato cúprico) de color verde y venenoso. También pueden formarse una mezcla venenosa de acetatos de cobre de color verdoso o azulado que se forma cuando los óxidos de cobre reaccionan con ácido acético, que es el responsable del sabor del vinagre y se produce en procesos de fermentación acética. Al emplear utensilios de cobre para la cocción de alimentos, deben tomarse precauciones para evitar intoxicaciones por que a pesar de su mal sabor, puede ser enmascarado con salsas y condimentos y ser ingerido. Debido a que este metal es muy usado aunque experimenta oxidación en presencia de diversos compuestos químicos, es muy importante vigilar su comportamiento y reactividad más aún si se usa con fines de conducción, almacenamiento o transporte de un recurso hídrico tan importante como el agua potable. (16)

1.1.1 REACCIONES QUIMICAS: CORROSIÓN

a) Definición

Existen muchas definiciones para la corrosión. La más comúnmente aceptada es la siguiente:

“Corrosión es el ataque destructivo de un metal debido a una reacción química o electroquímica de tipo oxidativo con su medio ambiente”

Cabe destacar que existen otras clases de daños en metales, como los causados por medios físicos. Estos daños no son considerados como corrosión, sino más bien como erosión o desgaste, ya que no hay una reacción química en forma de pérdida de electrones u oxidación. En realidad, el proceso de corrosión, que es invariablemente una oxidación, implica siempre una pérdida de electrones por

parte del metal que se corroe.

Generalmente, los metales están constantemente expuestos a la acción de la atmósfera, la cual está compuesta principalmente de 79 partes de nitrógeno y 21 partes de oxígeno. Como el nitrógeno es un gas muy poco activo, prácticamente inerte a efectos prácticos, toda la actividad oxidativa atmosférica depende de la actividad del oxígeno, que se encuentra en estado molecular (con enlaces homopolares formando moléculas de O_2).

Sin embargo, al ser los metales relativamente estables químicamente, la acción del oxígeno por sí sola sobre estos materiales resulta muy débil, por esta razón este tipo de reacción (corrosión) requiere de agentes colaboradores del oxígeno, los cuales son principalmente tres: el calor, la humedad y la radiación. (17)

Como en la atmósfera siempre existe humedad a la temperatura ambiente, los metales se destruyen más por corrosión que por otros tipos de oxidación, y además sus efectos son mayores en los metales que se encuentren en una máxima humedad o en contacto directo con el agua, como por ejemplo, los presentes en las vías de conducción o almacenamiento de agua potable.

b) Tipos de corrosión según sus causas

Actualmente se admite que la corrosión se produce por dos clases de acciones fundamentales: por acción electroquímica y por acción exclusivamente química:

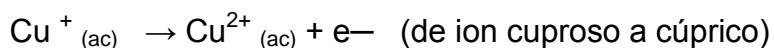
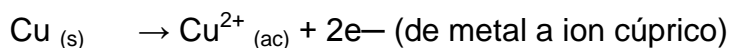
- La corrosión por acción electroquímica es la que tiene lugar sobre los metales expuestos a la atmósfera húmeda, o sumergidos en agua, o enterrados. Este tipo de corrosión se refiere, principalmente, a los casos en que el metal es atacado por el agente corrosivo en presencia de un electrolito. Esta clase de corrosión puede producirse sin fuerza electromotriz o intervención exterior, constituyendo la corrosión galvánica, y también por la acción necesaria de una fuerza electromotriz exterior, constituyendo la corrosión electroquímica, propiamente dicha.
- La corrosión química es la producida por los ácidos y álcalis, y tiene interés para la construcción de aparatos resistentes a la corrosión de los productos químicos que intervienen en el proceso de fabricación. Dentro de la corrosión

química se puede considerar a la corrosión bioquímica, que es la corrosión química producida por bacterias, y que suele tener lugar en objetos metálicos enterrados. Ésta a su vez es específica de cada metal o aleación. Las bacterias no atacan directamente a los metales; sin embargo, pueden estimular reacciones que destruyen capas protectoras de la corrosión.

c) El cobre como metal susceptible de sufrir corrosión

El cobre es uno de los metales más usados en el transporte, almacenamiento y conducción de agua debido a que químicamente es relativamente noble, es decir es menos reactivo que otros metales, sin embargo cuando entra en contacto con compuestos químicos provenientes de la contaminación ambiental (derivados de ácidos orgánicos o de azufre) se acelera su corrosión. La corrosión del cobre tiene una influencia negativa en las propiedades eléctricas, en los aspectos decorativos y sanitarios debido a la pérdida del brillo metálico, liberación de éste en el agua; o a la posible formación de compuestos tóxicos de cobre.

En general, en la superficie del cobre o en solución acuosa pueden tener lugar las siguientes reacciones de óxido reducción (redox):



Sin embargo cabe destacar que estas reacciones redox solo tienen lugar en presencia de elementos capaces de captar electrones (como los oxidantes: oxígeno (O_2), azufre (S), cloro (Cl_2), bromo (Br_2), yodo (I_2), ion hidrogenión (H^+), etc.), las cuales se aceleran si intervienen más de uno de los tres factores prooxidantes descritos (calor, humedad y/o radiación).

Es de destacar que en la corrosión del cobre (y sus aleaciones) existen varios productos que pueden formarse:

Por ejemplo al estar el cobre en contacto con el aire, su superficie se oxida lentamente a Cu_2O , de color rojo, lo que normalmente evita la oxidación posterior.

Sin embargo en zonas húmedas como en las tuberías de cobre se pueden formar una capa protectora de color verde de carbonato básico de cobre ($\text{Cu}(\text{OH})_2\text{CO}_3$) debido a los carbonatos presentes en las ciudades; de sulfato básico de cobre

(CuSO₄.Cu(OH)₂) debido a los sulfatos o sulfuros procedentes de los centros industriales; y de cloruro básico (CuCl₂.3Cu(OH)₂) debido a la gran concentración de cloruros propios de las zonas costeras. Productos que, en todos los casos contribuyen a formar compuestos más solubles y por lo tanto factibles de liberarse al medio ambiente (o a la red de agua potable).

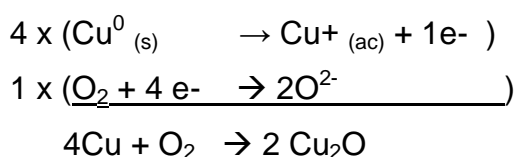
Como regla general, la capa de corrosión de cobre (más conocida por los ingenieros como pátina) formada tiene estructura dúplex, es decir una estructura de dos fases, la primera formada por una capa interna de óxido cuproso (Cu₂O) y una capa externa de óxido cúprico (CuO) e hidróxido de cobre (II) [Cu(OH)₂] en atmósferas sin contaminar, o por una capa interna de sulfuro cuproso (Cu₂S) y una capa externa de sulfuro cúprico (CuS) en atmósferas industriales con contaminación de dióxido de azufre (SO₂) (18).

Por tanto, la acción corrosiva del aire es un efecto combinado de la humedad, la presencia de oxígeno, contaminaciones gaseosas (principalmente óxidos de azufre) y partículas sólidas, aparte de otros oxidantes que podrían encontrarse en solución.

Depende, por tanto también, de la situación geográfica, pues los productos de corrosión son distintos: en las zonas no industriales son óxidos o carbonatos, en las zonas industriales se encuentra además sulfuros o ácido sulfúrico, mientras que junto al mar, contienen diversas sales como los cloruros.

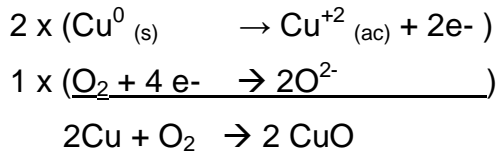
En las zonas industriales, a causa de los ácidos, es más rápida la corrosión, mientras que junto al mar o las ciudades, más penetrante en objetos metálicos, como consecuencia de la mayor conductividad eléctrica de la lluvia y la tendencia a formarse cloruros o sulfatos solubles.

Así en la práctica, el primer paso para la formación de la pátina natural (capa de corrosión) sobre el metal va a ser la oxidación del cobre dando lugar a óxido de cobre con valencia +1 (óxido cuproso) por medio de la siguiente reacción:

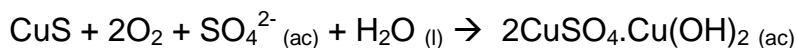
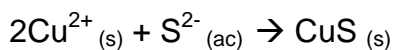
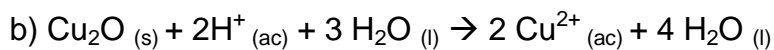
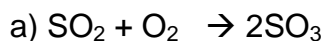


Bajo ciertas condiciones se forma una capa externa de óxido en la que el cobre

se oxida formando un óxido de cobre con valencia +2 (óxido cúprico) debido a la sobreexposición al oxígeno:



En un ambiente seco, estos óxidos (por medio de la capa impermeable formada) bloquean la oxidación posterior sin embargo, si en el medio existe (además de una alta humedad) algún otro compuesto oxidante ya sea de azufre (dióxido de azufre, trióxido de azufre, sulfuro de hidrógeno, ácido sulfúrico, etc.) de carbono, nitrógeno o de cloro; el óxido de cobre (I) puede transformarse (en el primer caso) en sulfuro de cobre (II), que puede oxidarse a su vez a hidroxí-sulfato de cobre (II), es decir, sulfato básico de cobre.

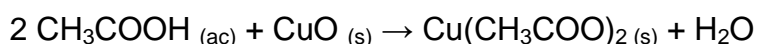


La formación intermedia de sulfuro de cobre se puede reconocer, además de estudios de cinética química, por la coloración negruzca que adquieren las tuberías y conexiones de agua, constituidas por cobre, de los edificios situados en zonas industriales. Esta coloración negruzca se transforma lenta y progresivamente en una tonalidad cada vez más verdosa.

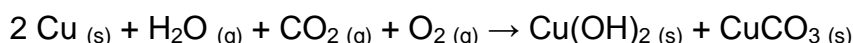
En un medio rico en dióxido de azufre, el óxido de cobre precedentemente indicado se puede convertir directamente en sulfato básico de cobre, especialmente cuando la humedad supera el 75 % (como en una tubería de conducción o un depósito de almacenamiento de agua usada por largo tiempo). El sulfato primario que se forma es "lavado" luego por los contaminantes,

hidrolizándose a sulfato básico de cobre, menos soluble (y, por tanto, más estable) que el sulfato anhidro. En las condiciones precedentemente indicadas se formará siempre sulfato de cobre y nunca sulfito, ya que el mismo metal cobre y sus sales aceleran catalíticamente la transformación del sulfito en sulfato. En tales circunstancias, el contenido de dióxido de carbono en el medio no parece que ejerza ninguna influencia notable en la formación de la pátina por lo que la adición o no de carbonatos al agua potable en la planta potabilizadora de agua no serviría de mucho.

Por otra parte, hay que indicar que el denominado "verde- cobre" no tiene nada que ver con la pátina verde natural del cobre o de sus aleaciones, pues el "verde- cobre", también denominado "cardenillo", es en realidad un producto a base de acetato básico de cobre (II) (de fórmula aproximada: $\text{CuO} \cdot 2\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$), originado por la acción, del ácido acético u otro ácido orgánico sobre el metal cobre, siendo sumamente tóxico. (19)



Tampoco hay que confundir este "cardenillo" con el denominado "verdín" (carbonato de cobre), que se forma en las vasijas o tuberías sucias de cobre al cabo de cierto tiempo, también venenoso.



De esta manera la corrosión de los metales, en este caso del metal cobre causa pérdidas enormes y daños incalculables, debido principalmente a los accidentes producidos por la rotura u obstrucción de las piezas debilitadas. Ocasiona fallos en las instalaciones industriales y domiciliarias (roturas de calderas, tuberías de conducción de agua, gas o hidráulicas, cascos de buques, estructuras metálicas diversas, etc.). Desde el punto de vista económico la corrosión ocasiona pérdidas muy cuantiosas; en el Perú, se estima que las pérdidas por corrosión superan el 8 % del producto nacional bruto, lo que significó para el año 2000 cerca de 1200 millones de dólares (20). A partir de este dato es fácil comprender el hecho de

que la corrosión sea responsable de que de 1/4 a 1/3 de la producción nacional de metales se dedique a la reposición de las estructuras metálicas deterioradas.

1.1.2 IONES DE COBRE EN EL SISTEMA DE AGUA POTABLE

Se conoce que en la naturaleza solo trazas de este elemento (cobre) están ampliamente distribuidos; pero debido a la relativa insolubilidad de la mayoría de sus minerales y a su absorción cuando se encuentra en fase sólida, solo bajas concentraciones de este metal se encuentran presentes en aguas naturales.

Las formas que toma el cobre en el agua dependerán del pH y de la concentración de carbonato presente, y de otros aniones en solución.

La concentración de cobre en el agua que sale de la fuente de agua potable del consumidor puede ser más alta que en la fuente original o que en el agua tratada debido principalmente a dos factores:

1) La dosis de sulfato de cobre utilizada en el proceso de tratamiento de agua para consumo humano de la planta de la Atarjea:

El sulfato de cobre Industrialmente se obtiene a partir de minerales de cobre o por la acción del ácido sulfúrico concentrado sobre el cobre puro. Por su acción bactericida y alguicida, además de su bajo costo se emplea en el tratamiento de aguas en las dos plantas de tratamiento de agua para consumo humano de la Atarjea (SEDAPAL), así como en sus dos estanques reguladores. Por esta razón se agrega al agua potable en las siguientes dosis para destruir algas que se desarrollan en los depósitos:

Áreas de aplicación	Dosis (mg/L o ppm)
Estanque Regulador N°1 y N°2	1,5 – 2,4 mg/L
Planta N°1 y N°2	2 – 3 mg/L

2) La cantidad de metal liberado por el propio sistema de distribución. Diversas características físicas y químicas del agua que sale de la fuente de agua potable del consumidor influyen al entrar en el sistema, siendo una de las más importantes la capacidad del agua de disolver una parte del cobre presente como material en los elementos del sistema de distribución y de la fontanería

doméstica, principalmente válvulas, acoples, carcasas, tuercas pernos y selladoras de caucho (que tienen cobre en su composición) que son permitidas y hasta recomendadas por las siguientes normas técnicas:

- NTP 350.107:1998:** Válvulas de paso de aleación cobre - zinc con niple Telescópico y salida auxiliar para conexiones domiciliarias.
- NTP 350.080: 1998:** Acople (Niple roscado con pestaña y tuerca unión) de aleación Cobre - Zinc para conexión con el medidor de agua
- NTP 342.003: 1978** Usos del cobre y sus aleaciones para fundir y para transformación, definiciones, clasificación y designación en las fuentes de agua potable incluido su uso en tuberías, aunque de poco uso en la actualidad, sin embargo para carcazas exige un mínimo de 57% de cobre.
- NTP 350.064 y
NTP-ISO 7259** La tuerca de la válvula que controla el paso de agua potable debe ser de aleación de cobre.
- AWWA C509:** Los compuestos selladores de caucho no deben contener más de 8 mg/kg de iones de cobre y deben incluir inhibidores de cobre para evitar la degradación por el cobre del elastómero.

1.1.3 Potencial de hidrogeniones (pH)

El pH es una medida del equilibrio ácido – base alcanzado por diversos compuestos disueltos y, en la mayor parte de aguas naturales, está controlado por el sistema de equilibrio dióxido de carbono-bicarbonato-carbonato, por tanto el pH de la mayoría de fuentes de agua natural fluctúa entre 6,5 – 8,5. (21)

El pH se relaciona de diferentes maneras con casi cualquier otro parámetro de la calidad del agua, desde que los equilibrios químicos acuosos comprenden invariablemente, los iones hidrogeno y oxhidrilo.

El pH ejerce influencia en el estado y la distribución de los metales. A pH bajo, los metales son más solubles y por tanto más tóxicos, debido a esto, los valores de pH deben mantenerse por encima de 6 para limitar su solubilidad. (22)

De esta manera la medición del pH constituye una característica muy importante para detectar aguas residuales, donde encontramos extremas concentraciones del ion hidrogenión (H^+) y un alto grado de acidez, lo cual indica que se han captado desechos ácidos, provenientes generalmente de industrias, o bien de zonas mineras. (23) Además, se sabe que el cobre es un metal que debido a su inestabilidad termodinámica, tiende a corroerse en contacto con el agua, específicamente con sus iones hidrógeno; además esta característica se incrementa si existen en el agua más aniones que forman compuestos solubles con este metal; y menos aniones que por el contrario formen compuestos insolubles. Por lo general, la deposición de carbonato de calcio puede controlar la corrosión; sin embargo existen otros factores que afectan este proceso, como son la temperatura, el pH, el total de sólidos en disolución, la dureza y la acidez, por consiguiente, la efectividad de la protección frente a la corrosión, depende de un equilibrio muy cuidadoso del sistema carbonato-bicarbonato.

En general, y para todos los metales la eficiencia de los métodos de tratamiento de aguas depende mucho del pH, por lo que es practica estándar en el tratamiento ajustar el pH en un rango idóneo (pH de 6,5 a 8,5 según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano y la Norma Técnica Peruana N° 214.003) de manera que se logre una óptima formación de flóculos fáciles de eliminar. (21)

1.2 DINÁMICA DEL MEDIO AMBIENTE Y SU RELACION CON EL COBRE

El Cobre es un metal de transición ampliamente usado en la industria en diversas aplicaciones tecnológicas como en la industria química, la industria naval, la industria de producción y distribución de energía, la industria de la construcción como cubiertas de cobre en edificios y tuberías para agua sanitaria, en la fabricación de equipos como son los intercambiadores de calor y sistemas

domésticos de aire acondicionado, en sistemas electrónicos y de telefonía, en circuitos impresos, en la industria sanitaria, en aplicaciones médicas como son los dispositivos intrauterinos (DIU-Cu), prótesis médico quirúrgicas y como amalgamas en aplicaciones odontológicas, en agroquímicos (especialmente fungicidas y micostáticos), esmaltes y pigmentos, reactivos para curtiembre, alguicidas de uso profuso en cuerpos de agua dulce; en obras de arte, por ejemplo, planchas calcográficas pertenecientes al patrimonio histórico artístico; en objetos ornamentales expuestos al aire libre y en museos, entre otros. Por este motivo, no es sorprendente que el hombre contamine el medio ambiente con cantidades cada vez más progresivas de cobre. La contaminación con este metal se produce mayoritariamente en la cercanía de las minas donde se extrae y procesa, y en las refinerías durante su purificación (24). Los polvos de cobre que se liberan al aire y al agua reaccionan con el oxígeno y el azufre, que muchas veces son parte de los mismos minerales desde donde se refina el metal, generando compuestos aún más hidrosolubles y diseminables. La dosis de sulfato de cobre que se utiliza como alguicida incluso en las plantas y reservorios de agua potable como la de SEDAPAL. De esta manera el agua superficial que se contamina puede drenar hacia los acuíferos y aumentar el nivel de cobre en ellos (24) y por consiguiente en las redes de agua potable domiciliarias (25).

Las zonas urbanas también son sitios de gran contaminación con cobre. Esto se debe, además de la cercanía con las fábricas y al uso profuso de combustibles fósiles. En las zonas rurales en cambio, la principal fuente de contaminación con cobre la constituye el uso excesivo o inapropiado de pesticidas, fungicidas y alguicidas. Si bien se sabe que en Norteamérica solamente, mueren alrededor de 300.000 personas por año en zonas rurales por causa de la exposición aguda a pesticidas formulados a base de cobre, es frecuente que se produzcan intoxicaciones por exposiciones crónicas debidas al consumo diario de vegetales que han sido tratados con agroquímicos (26). En áreas industrializadas el problema es mayoritariamente la exposición crónica a dosis bajas (27). Los casos de exposición aguda se producen sobre todo por la ingesta de líquidos contaminados con cobre, o por el consumo accidental o expeso de grandes cantidades de sales de cobre (28).

También se pueden encontrar grandes concentraciones de cobre en peces u otros animales marinos. Por ejemplo, en las ostras del río *Thames* (Inglaterra) y de la bahía de *Chesapeake* (Taiwán) se puede observar un color verde en la carne del molusco debido a la deposición de sales cúpricas, condición que causa intoxicación aguda en las personas que los consumen (24). A su vez, *Green-Ruiz* y Páez-Osuna encontraron que en la ensenada Altata ubicada en la laguna *Culiacán* (México) -en la cual se eliminan los desechos de la actividad agrícola local- existe una relación directa entre la concentración de cromo, cobre, manganeso y plomo, y las descargas agrícolas registradas. En España, el cobre es el único compuesto aceptado como fungicida en la producción orgánica, y la Comisión de Regulación Europea permite un máximo de uso de 6 Kg/hectárea/año (EC/473/2002). Sin embargo, el umbral utilizado supera ampliamente lo establecido por esta comisión (29).

De modo que el cobre puede ingresar a nuestro sistema por sobrecarga de la cadena nutricional a partir de suplementos para animales de cría, fórmulas comerciales para alimentación enteral o parenteral, o residuos de pesticidas y otros agroquímicos (30).

Muchas otras fuentes de contaminación también nos pueden provocar sobrecarga de cobre. Por ejemplo, el uso de ciertos medicamentos como los anticonceptivos orales (31) y también los dispositivos intrauterinos a base de cobre (32). La diálisis crónica puede ser fuente de sobrecarga de cobre (31), como así también la nutrición parenteral (33). Existe un gran número de casos de intoxicación por cobre debida a bebidas de circulación comercial, leche o agua considerada supuestamente potable (25; 28), la inhalación de polvos ricos en minerales de cobre (34; 35) y la absorción dérmica de productos que los contienen (36).

Recientemente se ha replanteado el problema del cobre en agua potable como un factor de riesgo para poblaciones susceptibles tales como niños, ancianos y personas de cualquier edad que sean heterocigotas para la enfermedad de Wilson, enfermedad que no permite una adecuada eliminación del cobre del organismo (28). Otras causas de intoxicación por sobrecarga de cobre se deben a cuestiones de tipo cultural tales como la preparación de alimentos en

contenedores hechos con amalgamas de este metal (37, 38, 39). En general, existe acuerdo en que los casos de sobrecarga por cobre resultan de una combinación de factores ambientales y predisposición genética (40, 41) y que las fuentes principales de sobre-exposición la constituyen el agua de bebida, los alimentos y los suplementos nutricionales (42).

1.3 INGESTA DE COBRE EN SERES HUMANOS

La ingesta diaria de cobre (Cu) varía enormemente dependiendo del tipo de dieta seguida. El cobre necesario para el mantenimiento de la fisiología normal en los humanos se obtiene tanto del agua como de los alimentos. El agua de bebida tiene una concentración promedio de 4-10 µg de cobre/L, y en su mayoría se encuentra unido a la materia orgánica presente en ella (43). De esta forma se calcula que el agua aporta entre un 6 y un 13 % del cobre total requerido por día (38). Otra fuente de ingesta de cobre la constituye los alimentos ricos en este metal de transición que incluyen a las ostras, nueces, hígado, legumbres y granos de cereales, entre otros. La OMS (Organización Mundial de la Salud) estimó las necesidades de ingesta mínima diaria para el cobre en humanos en 0,6 mg/día para mujeres y 0,7 mg/día para hombres (38). Sin embargo, actualmente no contamos con datos certeros sobre los índices LOAEL (*Lowest Observed Adverse Effect Level*) o NOAEL (*Non-Observed Adverse Effect Level*) que hayan sido determinados de manera confiable mediante experimentación en humanos. Por lo tanto, el así llamado “rango de ingesta segura” debería ser considerado meramente orientativo y tomado con precaución (43), especialmente, si consideramos las complejas y aún no conocidas interacciones que presenta la absorción intestinal de cobre con numerosos micro y macronutrientes que han sido reportadas tanto in vitro (44) como in vivo (45). Asimismo se deben considerar otros factores como el contenido regional de cobre en alimentos (46, 47), la presencia de sustancias que aumenten o disminuyan su absorción (48), o de defectos genéticos como el síndrome de Menkes o la enfermedad de Wilson (30), y otras condiciones médicas involucradas en su excreción biliar (30). Especial atención debería prestarse a la presencia simultánea de interacciones con fármacos (38) y compuestos orgánicos con el cobre tales como tioles y aminoácidos, entre otros. Por ejemplo, hay vitaminas que interfieren en su absorción (tales como las vitaminas A, C, B3, B5 y B6) mientras que algunos

minerales la favorecen, en especial el calcio (Ca), hierro (Fe), sodio (Na), selenio (Se) y cobalto (Co). Finalmente, cabe destacar que el cobre en agua es un problema de actualidad desde que su calidad es generalmente ignorada en la gran mayoría de las plantas de control de agua potable en el mundo.

1.4 PANORÁMICA SOBRE EL METABOLISMO DEL COBRE EN HUMANOS

1.4.1 Metabolismo normal

El Cu es un metal esencial para todos los organismos vivos, especialmente para los mamíferos, ya que actúa como cofactor de importantes enzimas como la Cobre/Zinc superóxido dismutasa (Cu/Zn SOD), la citocromo-c-oxidasa de la cadena de transporte electrónico mitocondrial y la ceruloplasmina que es sumamente ubicua. También se lo encuentra en las tirosinasas (que intervienen en la ruta de biosíntesis de melanina), en la proteína hefaestina (encargada de la eliminación del hierro en las células del intestino), en las lisil-oxidasas (que realizan el entrecruzamiento entre elastina y colágeno), en las dopamina-monooxigenasas (necesarias para la producción de catecolaminas) y en las peptidil-glicil- amida- monooxigenasas (requeridas para la modificación de las hormonas neuropeptídicas). A pesar de ello, en su forma libre es sumamente tóxico por su capacidad de producir radicales libres. Es por eso, que todos los organismos, y en especial los humanos, contamos con un elaborado mecanismo de control del metabolismo de este metal (50).

1.5 MECANISMOS DE LA TOXICIDAD POR COBRE

1.5.1 Generalidades

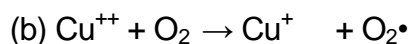
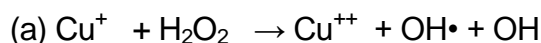
Entre los diversos contaminantes del medio ambiente se encuentra un importante grupo, el de los metales pesados, que representan una de las formas más peligrosas de contaminantes del medio ambiente. Esto se explica en primer lugar, porque no presentan normalmente ningún tipo posible de degradación biológica o química, como con otros contaminantes; en segundo lugar, estos compuestos pueden ser bioacumulados de diversas formas (inorgánica o como compuestos orgánicos) y permanecer en los organismos por largos periodos. Por último, su toxicidad se debe además a su alta afinidad con los grupos amino y sulfhidril enzimáticos, ya que al

reaccionar con dichos grupos, se forman complejos metálicos y diversas enzimas pierden efectividad para controlar las reacciones metabólicas.

1.5.6 El cobre como radical libre

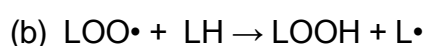
Además de su toxicidad como metal pesado el cobre puede resultar tóxico a bajas concentraciones por ser uno de los metales más prooxidantes entre los catalizadores oxidantes. Por otro lado, trazas de este metal como residuo ejercen una acción destructiva de la vitamina C (efecto más notorio si la ingesta de dicha vitamina es baja o nula) e inhiben fuertemente la flora bacteriana produciendo con ello trastornos de la digestión (21, 46)

El cobre es un metal de transición que, al igual que el resto de este tipo de metales (excepto el zinc), tiene electrones desapareados en sus orbitales externos. Por este motivo es que estos metales pueden ser considerados radicales libres. El cobre, al igual que el hierro puede participar en las reacciones tipo *Fenton* (a) y *Häber-Weiss* (b) produciendo especies reactivas del oxígeno (ROS):



Una de las consecuencias características del exceso de ROS es la peroxidación de lípidos de membrana que produce cambios en la fluidez y permeabilidad de la misma y por lo tanto en la totalidad de sus propiedades funcionales (37). El proceso de peroxidación lipídica consiste en tres etapas: iniciación, propagación y terminación que resultan ya ampliamente conocidas (51).

El proceso de peroxidación lipídica actúa principalmente sobre los ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs) y comienza generalmente con la extracción de un átomo de hidrógeno del carbono metilénico por alguna especie reactiva (ej: radical hidroxilo ($\text{OH}\cdot$)). En condiciones aeróbicas se forma, a partir del PUFA sin el hidrógeno y con un electrón desapareado, un radical peroxilo ($\text{LOO}\cdot$) (52) de acuerdo con el esquema de reacción siguiente:



Donde: LH: PUFA;

L•: radical alcoxilo;

LOOH: hidroperóxido lipídico

Los radicales peroxilo o peróxido forman peróxidos, tanto los orgánicos como el mismo peróxido de hidrógeno, que son especies inestables sumamente interesantes ya que pueden participar en una gran variedad de reacciones biológicas. Asimismo los radicales peróxidos están involucrados en el clivaje del ácido desoxirribonucleico (ADN) y la modificación de la estructura de las proteínas, además de aumentar sinérgicamente la inducción del daño al ADN por parte de los radicales superóxido ($O_2^{\cdot-}$). Por esta razón la medición y detección de peróxidos lipídicos es la forma más empleada para evidenciar la implicancia de los radicales peróxidos en las intoxicaciones y otras enfermedades humanas (53). A su vez, es sabido que el radical libre hidroxilo ($OH\bullet$) reacciona con todos los componentes de la molécula de ADN produciendo daños a nivel de las bases, de la pentosa, y también alteraciones de la conformación estructural de la molécula. Este daño al ADN resulta en un daño celular o una inducción de la transcripción de ciertos genes, activación de vías de señalización vinculadas a la sobrevivencia celular, errores en la replicación e inestabilidad génica. Todas estas consecuencias están íntimamente asociadas con los efectos citotóxicos y con la proliferación y carcinogénesis, daños producidos de esta manera indirectamente por metales pesados tales como el cobre (53).

Histológicamente diversos tejidos como el pulmonar o cerebral son especialmente vulnerables al nivel de ROS, el primero por exposición a agentes oxidantes endógenos o exógenos, y el segundo debido a su alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs), los cuales son blanco fácil para la peroxidación lipídica. Sus componentes antioxidantes al llegar a una baja concentración y debido a la presencia de metales de transición, como el cobre y el hierro, agravaría la precaria condición antioxidante de estos tejidos que se ven sometidos constantemente al ataque de reacciones tipo *Fenton* catalizadas por los cationes de estos metales.

Sin embargo el hígado resultaría ser el órgano con mayor exposición debido a su condición de filtro primario en el sistema circulatorio. Algo similar sucede con el tracto

gastrointestinal por su exposición directa luego de la ingesta. En el caso específico de la sobrecarga por cobre, el intestino delgado está especialmente expuesto y lleva a cabo el rol primario de la captación y homeostasis del metal.

Por lo tanto, la hepatotoxicidad será un marcador muy importante en la evaluación del efecto por sobre-exposición al metal. Esto es debido a que el hígado es sin duda el tejido que mejor soporta tanto una sobrecarga de cobre como una situación de estrés pro oxidativo de cualquier origen por tener altas actividades específicas de las enzimas del sistema de defensa antioxidante. Además, produce grandes cantidades de glutathione reducido (GSH) exportable al plasma y al resto de los tejidos, y es capaz de empaquetar en lipoproteínas a los antioxidantes liposolubles obtenidos de la dieta. Este órgano funciona como un filtro de primera línea en la depuración y metabolismo del exceso de cobre.

1.5.7 Mecanismo toxicológico del cobre

El principal mecanismo toxicológico mediado por cobre se encuentra en su habilidad para provocar sobreproducción de ROS y subsecuente daño pro oxidativo a lípidos, ácidos nucleicos y proteínas. *Miersch* y *Mutus* publicaron que el ión cobre (Cu^+) puede oxidar rápidamente los grupos S-nitrosotioles de proteínas, al igual que lo hace el ión cúprico en presencia de glutathione reducido (GSH), cisteínas o ascorbato. Este hecho es de suma importancia ya que de este modo los iones derivados del cobre pueden interferir con vías de señalización de las cuales las proteínas oxidadas forman parte. En relación a esto, existe amplia evidencia que indica que un aumento de ROS (como consecuencia de la presencia de concentraciones elevadas de iones cobre) puede inducir la autofosforilación de receptores TK (tirosina kinasas) de la membrana plasmática celular y por lo tanto un mayor estrés oxidativo celular (54). A su vez, se sabe que el cobre induce un aumento de la concentración de los iones calcio en el interior de la célula (55). Estos incrementos en los niveles de iones calcio citosólico conducen a una relocalización hacia la membrana plasmática de fosfolipasa A2 citoplasmática activando dicha enzima de manera parcial. Como es sabido, las fosfolipasas A2 catalizan la hidrólisis y liberación mayormente de ácido araquidónico a partir de glicerofosfolípidos. El ácido araquidónico es luego metabolizado a prostaglandinas por la vía de las ciclooxigenasas, y a leucotrienos por la vía de lipoxigenasas. Ambos tipos de derivados lipídicos son reconocidos

mediadores de la inflamación.

Por otro lado, es ampliamente conocido que la peroxidación de las lipoproteínas de baja densidad (LDL) aumenta el riesgo aterogénico. La exposición de las LDL al cobre divalente (Cu^{+2}) es una de las formas más comunes de iniciar esta oxidación in vitro (56). Si bien la relevancia de estos iones en la iniciación de la oxidación de las LDL in vivo no es del todo clara, es posible que en ausencia de agentes quelantes el cobre divalente (Cu^{+2}) sea reducido a cobre monovalente (Cu^{+1}) convirtiendo a los hidroperóxidos en radicales alcoxilos (38).

El aumento de ROS y la peroxidación de LDL pueden desencadenar estímulos pro-inflamatorios induciendo cambios en el fenotipo de las células endoteliales. Estos cambios permiten el paso de partículas de LDL modificadas y de ciertas estirpes de leucocitos a través de la barrera endotelial, atrapándolos en el espacio sub-endotelial. Los depósitos sub-endoteliales así formados estimulan la entrada de macrófagos, linfocitos CD entre otros, y la liberación de enzimas como la mieloperoxidasa que inducen la formación de ROS/RNS con la generación subsiguiente de peroxinitrito, otro potente oxidante. Así, los cambios provocados hacen que los macrófagos acumulen grandes cantidades de colesterol y otros lípidos. Luego de un período prolongado, los macrófagos se habrán transformado en células espumosas, células casi carentes de función.

Además, se sabe desde hace tiempo que el cobre puede asimismo incrementar el nivel de colesterol LDL contribuyendo al desarrollo de la aterogénesis (57). Estos eventos, especialmente los que llevarían a la formación de células espumosas y a la modificación y agregación plaquetaria son sin duda factores pro-trombogénicos relevantes.

Por todo lo referido anteriormente, se cree que una de las vías por las que los iones de cobre ejercen su efecto tóxico es produciendo un aumento del estrés oxidativo en múltiples tejidos del organismo. Por otro lado, también provocan una marcada perturbación del sistema endocrino (58). Uno de los mecanismos de los iones de cobre para interferir con el normal funcionamiento del sistema endocrino es desplazando de sus posiciones naturales a otros metales que actúan como cofactores, modificando de esta forma la funcionalidad de muchas proteínas

transportadoras, receptoras y enzimáticas. Esto ocurre por ejemplo con la estructura de los denominados dedos de zinc que posee la proteína receptora de estrógenos y de otros esteroides para unirse al sitio aceptor sobre el ácido desoxirribonucleico. Cuando existe un aumento de cobre en relación al zinc, este último es reemplazado por el cobre haciendo que el receptor pierda su función específica o la modifique (59).

Además de los mecanismos antes mencionados, se sabe desde hace muchos años que el cobre tiene efectos como inmunosupresor (60). Se han publicado trabajos que demuestran una disminución de la respuesta inmune humoral en ratas tratadas de forma sub-crónica con Cupravit®, un fungicida a base de cobre (61), y en un experimento muy controlado realizado en humanos, se ha descrito que el cobre incrementa los niveles de interleuquinas pro-inflamatorias (como la IL-6) y disminuye la respuesta a la sensibilización con la cepa *Beijing* de la influenza humana (62).

También está ampliamente demostrado que el cobre tiene importantes efectos como agente citotóxico y genotóxico desarrollando un indudable papel en la etiopatogénesis de las neoplasias (63). Este último mecanismo descansa en la producción de daño en la estructura molecular del ácido desoxirribonucleico por vía indirecta (ROS) o directamente por formación de complejos con grupos funcionales de las bases nitrogenadas que las modifican introduciendo mutaciones, o dificultando el proceso de reparación de errores (64).

De modo que queda mucho por investigar sobre el mecanismo por el cual el cobre provoca intoxicación aguda o crónica, aunque parecería estar definitivamente aceptado que al menos el estrés oxidativo-nitrativo inducido por este metal juega un papel esencial en el proceso fisiopatológico de sus múltiples efectos deletéreos.

1.6 ABSORCION, DISTRIBUCION, METABOLISMO Y ELIMINACION

ABSORCIÓN:

El ion cúprico se une a un cofactor presente en la saliva y el jugo gástrico formando complejos solubles a nivel intestinal que ingresan al plasma donde el cobre se une a la albumina e histidina para atravesar pasivamente las

membranas y ser fijado en los tejidos dependiendo de la concentración de metalotioneína.

En los mamíferos el cobre se absorbe en el estómago y el intestino delgado, aunque no parece haber diferencias entre especies con respecto al sitio de la máxima absorción. El cobre es absorbido desde el estómago y el duodeno en ratas y desde la parte inferior del intestino en *hámsters*. El lugar de absorción máxima de cobre no es conocido en humanos, pero se supone que es el estómago y el intestino superior debido a la rápida aparición de cobre en el plasma después de la administración oral.

La absorción de cobre oscila desde 15% hasta 97%, dependiendo del contenido de cobre, tipo de compuesto de cobre, y de la composición de la dieta.

Varios factores influyen en la absorción de cobre. Por ejemplo, la absorción de cobre se ve reforzada por la ingestión de proteínas animales, aminoácidos, iones citrato y fosfato y algunos vegetales frescos. Las sales de cobre, incluyendo gluconato de cobre, acetato de cobre o sulfato de cobre, son más fácilmente absorbidas que los óxidos de cobre probablemente por su mayor solubilidad. Los niveles elevados en la dieta de zinc, así como el cadmio, el consumo elevado de fitatos y azúcares simples (fructosa, sacarosa) así como el ácido ascórbico inhiben la absorción de cobre. Por otra parte, los bajos niveles de cobre en la dieta inhiben la absorción de hierro.

Algunas formas de cobre no son solubles en los ácidos del estómago y no pueden ser absorbidas desde el estómago o el intestino delgado. Además, algunos alimentos pueden contener fibra no digerible que se une con el cobre. El consumo elevado de zinc puede reducir significativamente la absorción de cobre. Además ingerir altas dosis de vitamina C o de hierro también pueden afectar su absorción. Las personas con problemas digestivos crónicos pueden ser incapaces de absorber suficientes cantidades de cobre, a pesar de que los alimentos que consumen son ricos en cobre.

Varios transportadores de cobre han sido identificados en el transporte de cobre a través de las membranas celulares. Pueden existir otros transportadores de cobre intestinales. La captación de cobre intestinal puede ser catalizada por medio de la proteína de absorción de cobre de alta afinidad (hCtr1).

. La proteína de absorción de cobre de alta afinidad (hCtr1) se expresa en todos los tipos celulares investigados hasta ahora, incluyendo los enterocitos, y cataliza el transporte de cobre a través de la membrana celular.

Desde las células de la mucosa, el cobre es transferido al otro lado de la membrana basolateral hasta el líquido intersticial y la circulación portal por un mecanismo dependiente de energía. Este último paso quizás delimite la velocidad de absorción y probablemente sea realizado por la enzima ATPasa de Tipo P transportadora de cobre.

El exceso de cobre (así como otros iones de metales pesados como el zinc o cadmio) pueden estar unidos con la metalotioneína y secuestrados dentro de vesículas intracelulares de los enterocitos (es decir, células predominantes en la mucosa del intestino delgado).

DISTRIBUCIÓN:

El cobre liberado de las células intestinales se mueve a los capilares de la capa serosa (es decir, la capa delgada de revestimiento de la membrana) donde se une a la albúmina, glutatión, y a los aminoácidos (principalmente histidina) en la circulación portal. Hay también evidencia de una pequeña proteína, transcupreína, con un papel específico en el transporte de cobre en plasma. Varias o todas estas moléculas que se unen al cobre pueden participar en el transporte del cobre en el suero sanguíneo por medio de la formación de complejos con este metal. El cobre de la circulación portal llega principalmente al hígado. Una vez en el hígado, el cobre se incorpora, ya sea en las proteínas de cobre que requiere el organismo, o se almacena principalmente en el mismo hígado, corazón, cerebro, riñón y músculo en pequeñas cantidades, el resto se secreta en la sangre. La mayor parte del cobre (70 - 95%) excretado por el hígado se incorpora a la ceruloplasmina, principal portador de cobre en la sangre. El cobre es transportado a los tejidos extra-hepáticos por la ceruloplasmina, la albúmina y los aminoácidos, o se excreta en la bilis. De esta manera, mediante la regulación de la liberación del cobre, el hígado ejerce control homeostático sobre el cobre extrahepático.

METABOLISMO:

Es fundamentalmente de tipo hepático. En el hígado del 90% al 95 % del cobre es incorporado a la ceruloplasmina durante su biosíntesis y maduración (lo que resultara en su secreción al plasma sanguíneo), del 1% al 2 % unido a los aminoácidos o libre, y el resto está unido reversiblemente a la albúmina.

ELIMINACIÓN:

Principalmente se da por la bilis (81%), la cual es la principal vía para la excreción de cobre y es de vital importancia en el control de los niveles de cobre en el hígado, también se da por las paredes intestinales (16%) y pequeñas cantidades (cerca del 4%) se elimina por la orina, por el sudor y de manera muy baja a través de la epidermis. Su semivida de eliminación es de varias semanas. (65)

1.7 IMPACTO DEL COBRE EN LA SALUD POBLACIONAL

1.7.1 TOXICIDAD AGUDA DEL COBRE

La toxicidad del cobre puede ser aguda y crónica, aunque no son frecuentes las intoxicaciones agudas por este metal, dadas sus propiedades eméticas y laxantes.

En informes de casos de seres humanos intencional o accidentalmente ingieren altas concentraciones de sales de cobre (dosis por lo general no se conocen, pero se informa que aproximadamente de 20 a 70 gramos de cobre), se observó una progresión de síntomas que incluyen dolor abdominal, dolor de cabeza, náuseas, mareos, vómitos y diarrea, taquicardia, dificultad respiratoria, anemia hemolítica, hematuria, hemorragia gastrointestinal masiva, insuficiencia hepática, renal y la muerte.

Los episodios de malestar gastrointestinal aguda tras la ingestión única o múltiple de agua potable contiene niveles elevados de cobre (por lo general por encima de 3-6 mg/L) se caracterizan por las náuseas, los vómitos y la irritación del estómago. Estos síntomas desaparecen cuando se reduce la cantidad de cobre en la fuente de agua potable.

Se realizaron tres estudios experimentales que demuestran un umbral para el malestar gastrointestinal aguda de aproximadamente 4-5 mg/L en adultos sanos, aunque no está claro a partir de estos resultados si los síntomas se deben a los efectos sumamente irritantes de cobre y/o a metálico, amargo, o el sabor salado. En un estudio experimental con adultos sanos, el umbral promedio de sabor para el sulfato de cobre y cloruro en el agua de la fuente de agua potable, agua desionizada o agua mineral era 2,5 a 3,5 mg/L. Esto es justo por debajo del umbral experimental para el malestar gastrointestinal agudo.

1.7.2 TOXICIDAD CRÓNICA DEL COBRE

La intoxicación crónica por cobre en humanos es rara, debido al propio mecanismo de regulación de su concentración en el cuerpo humano. Sin embargo, la exposición crónica al cobre por ingestión de alimentos conservados en recipientes de este metal se ha asociado a la aparición de lesiones hepáticas en niños (66).

Un caso especial de intoxicación se produce en la enfermedad de Wilson, alteración congénita que afecta al metabolismo del cobre, en la que aparecen trastornos con la ingestión de concentraciones normales de este metal (67).

Los individuos con enfermedad de Wilson son especialmente sensibles a sufrir los efectos crónicos del cobre.

Además se ha comprobado que el cobre es tóxico para algunos peces y algunas especies de fitoplancton. La magnitud de su toxicidad depende de la especie en cuestión y de su habilidad para regular su concentración (66).

Con respecto a su efecto carcinogénico aunque se han encontrado valores elevados de cobre, hierro y zinc en ciertos tumores provocados experimentalmente en animales de laboratorio por xenobióticos orgánicos, no ha sido demostrada la responsabilidad carcinogénica del cobre. (67).

1.8 DESCRIPCIÓN DEL SERVICIO DE SANEAMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL PERÚ

En el Perú, la Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338 (2009) (12) establece en su artículo n° 2 que “El agua constituye patrimonio de la Nación. El dominio sobre

ella es inalienable e imprescriptible, Es un bien de uso público...No hay propiedad privada sobre el agua”. Es, por lo tanto, deber del Estado la formulación de políticas que delineen la utilización de dicho recurso, así como la planificación y administración de sus usos en forma económica y racional; inventariar y evaluar su uso potencial; conservar, preservar e incrementar dichos recursos. A partir de 1990 el sector sanitario es objeto de una profunda transformación como consecuencia del proceso de regionalización del país, es así como la promulgación de la Ley General de Servicios de Saneamiento n° 26.338 (1994), le confiere al Estado Peruano las funciones de regularización y supervisión de los servicios de saneamiento; además se establece que son las municipalidades provinciales las responsables de la prestación de dicho servicio así como el otorgamiento de derechos de explotación a entidades prestadoras de servicio (EPS). Los principales organismos que integran el sector saneamiento son el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, a través de la Dirección Nacional de Saneamiento (DNS), la cual tiene como objetivo principal la formulación de políticas y estrategias destinadas al desarrollo del sector y la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) cuya función es normar, regular y fiscalizar la prestación de los servicios. Actualmente existen 50 Empresas Prestadoras de Servicios (EPS) la mayoría operada por municipalidades o gobiernos locales, abarcando un 62% de la población total del país. Un 29% de la población, mayoritariamente rural es abastecida por organizaciones comunales, y un 9% es servido por municipalidades pequeñas. Mención especial merece la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL) que comprende la Provincia de Lima y la Provincia Constitucional del Callao, a partir de 1992 pasa a depender del Ministerio de la Presidencia como una empresa de propiedad del Estado, de Derecho Privado con autonomía técnica, administrativa, económica y financiera. Con respecto a su cobertura SEDAPAL presta servicio al 29% de la población del país. Esto se logra gracias a sus Plantas de Tratamiento de Agua Potable de las cuales la más importante es la Atarjea, ubicada en Lima.

La distribución de la prestación de los servicios de acuerdo al tipo de empresa u organización se muestra en la Tabla n° 1:

Tabla 1 Ámbito de Atención del Sector Saneamiento

Ámbito empresarial	Rango por conexiones totales de agua	N° de EPS	N° de distritos servidos	Ámbito poblacional	
				Habitantes (miles)	%
SEDAPAL	Más de 1.000.000	1	45	7,975	29
EPS Grandes	De 40.000 a 200.000	9	130	5,444	20
EPS Medianas	De 10.000 a 40.000	21	91	3,004	11
EPS Pequeñas	De 1.000 a 10.000	23	37	705	3
Total		54	303	17,166	62

Fuente: Plan Nacional de Saneamiento 2006 - 2015

1.8.1.- SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA PLANTA DE LA ATARJEA DE SEDAPAL.

La Planta de tratamiento de La Atarjea está compuesta por dos plantas: 1 y 2, las cuales tienen las siguientes unidades: barraje móvil - bocatomas, dosificación de polímeros, desarenadores, unidades de pre-cloración, embalses reguladores, dosificación de coagulantes, decantación, recirculación de agua de lavado de filtros, filtración, cloración y reservorio de almacenamiento. La fuente de agua es la proveniente del río Rímac, lo que incluye los sistemas de mejoramiento.

1.8.1.1 Proceso de Potabilización del Agua

Cuenta con 9 pasos fundamentales:

1. Captación: Las aguas del río Rímac llegan a las compuertas radiales, llamadas también compuertas de represamiento, que embalsan al agua y la obligan a entrar a las plantas 1 y 2.

2. Desarenado: El agua captada pasa bajo el río por un sifón invertido, siendo conducido a los desarenadores. Es entonces que empieza la operación de sedimentar las partículas grandes que tienen peso regular; en este caso las arenas, llamándose por esta razón desarenador.

3. Pre cloración: El agua sobrenadante recibe una dotación de cloro en cantidad suficiente, tiempo de contacto, temperatura y volumen; para ir bajando la carga de bacterias y es almacenada en el embalse regulador.

4. Embalses reguladores: El objetivo de estos embalses reguladores ubicados dentro de las plantas de tratamiento es recibir las aguas desarenadas y tener un cierto caudal de respaldo para cuando se necesite dar agua de manera sostenida a la población (por ejemplo en caso de sequía o de disminución de caudal del río).

5. Unidades de Tratamiento Convencional: se muestrea el agua para conocer su carga microbiana y toxicológica, y se aplican medidas correctivas en caso de sobrepasar los límites permitidos.

El tratamiento más importante es tratarla con alguicida, en este caso el sulfato de cobre, puesto que en este caso es un punto crítico debido a la existencia de materiales orgánicos y nutrientes que podrían favorecer el crecimiento de las algas, por esta razón las dosis son más altas:

Tabla 2:

Áreas de aplicación	Dosis (mg/L)
Planta N°1 y N°2	2 – 3 mg/L

6. Decantación: En esta etapa el estanque regulador se abre por medio de una tubería con un caudal constante en posición horizontal ascendente. En este punto se le agrega el coagulante, al agregarlo está reaccionando y formando el barro artificial llamado *flock*. Ese *flock* que tiene peso, al bajar la velocidad del agua, comienza a descender y se produce una separación. El agua limpia sube y el lodo se queda en la parte inferior.

7. Filtración: Se realiza a través de filtros “*Aquazur*” con una capa de arena de 1 metro de espesor y con granos de arena de alrededor de 1mm de diámetro. El agua se infiltra a través de la capa de arena, que retiene partículas más pequeñas que los poros entre los granos de arena, produciendo una importante reducción de la turbiedad y en el contenido bacteriano del agua, aunque no necesariamente de la cantidad de iones presentes que son de diámetro más pequeño.

8. Cloración: El agua recibe una dosis extra de cloración para la desinfección final, para destruir toda contaminación microbiana que pueda haber quedado después de todos los procesos anteriores.

9. Depósitos de Regulación: también llamados estanques reguladores.

El tratamiento final es tratar el agua nuevamente con alguicida (sulfato de cobre) dado que el agua potable se va a almacenar por un tiempo más o menos largo aunque a dosis menores a las que se utilizan en las plantas N°1 y N°2:

Tabla 2.1:

Áreas de aplicación	Dosis (mg/L o ppm)
Estanque Regulador N°1 y N°2	1,5 – 2,4 mg/L

1.8.1.2 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE SEDAPAL DE LA PLANTA LA ATARJEJA

El Sistema de Distribución Primaria de La Atarjea, cuenta con 5 líneas troncales principales que se inician a la salida de la Planta La Atarjea:

1. Matriz Atarjea – Comas, abastece a los distritos de la zona norte de Lima, y es complementada con la Planta de Tratamiento Chillón. Esta matriz abastece al área de la que se tomaron las muestras de los distritos de Puente Piedra y San Martín de Porres.
2. Matriz Atarjea – Villa El Salvador, abastece los distritos del sur de Lima
3. Matriz Atarjea – Centro, abastece a los distritos de la zona centro. Esta matriz abastece al área de la que se tomaron las muestras del distrito de Miraflores.
4. Matriz Atarjea – La Menacho, abastece a la zona de Barrios Altos y Centro Histórico del Centro de Lima.
5. Matriz Atarjea – La Molina, abastece a los distritos de La Molina y Santa Anita

1.9 DESCRIPCION DEL DISTRITO DE PUENTE PIEDRA

El distrito fue fundado el 14 de febrero de 1927 mediante Ley N° 5675 teniendo como jurisdicción territorial la zona norte de la provincia de Lima en la zona baja de la cuenca del río Chillón a una altitud de 184 m.s.n.m. con una extensión de 71,18 km².

Límites:

El Distrito de Puente de Piedra limita:

- por el Norte con el Distrito de Ancón,
- por el Este con el Distrito de Carabayllo,

- por el Sur con los Distritos de Comas, los Olivos y San Martín de Porres,
- por el Oeste con el Distrito de Ventanilla (Callao).

Población:

320 837 habitantes, según estimaciones oficiales del Instituto Nacional de Estadística (INEI) para el año 2013.

Situación del servicio de agua en el distrito de Puente de Piedra:

En el distrito de Puente de Piedra la población se abastece de agua según se detalla en el cuadro adjunto de acuerdo al censo nacional realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) en el año de 2007.

Tabla Nº 3 Abastecimiento de Agua en Puente Piedra

AREA # 150125	Dpto. Lima Prov. Lima Dist. Puente Piedra		
Categorías	Casos	%	Acumulado %
Red pública Dentro de la viv. (Agua potable)	17,889	34,97	34,97
Red Pública Fuera de la vivienda	2,380	4,65	39,63
Pilón de uso público	10,930	21,37	61,00
Camión-cisterna u otro similar	11,002	21,51	82,50
Pozo	7,179	14,04	96,54
Río, acequia. manantial o similar	138	0,27	96,81
Vecino	1,225	2,39	99,20
Otro	407	0,80	100,00
Total	51,150	100,00	100,00

Fuente: <http://censos.inei.gob.pe/Censos2007/redatam/>

En el distrito Puente de Piedra están clasificadas las poblaciones con los nombres de: Asentamientos humanos (AA.HH.), Asociación de viviendas, Asociación de viviendas residenciales, Centros poblados y Urbanizaciones.

Mapas de muestreo en Puente Piedra

- AA.HH. Zapallal Alto II Etapa: 4 muestras de agua potable



Fuente: 1994-2014 (c) PC Guía, guiacalles.com

- AA.HH. Fundo Flores: 3 muestras de agua potable



Fuente: 1994-2014 (c) PC Guía, guiacalles.com

-

1.10 DESCRIPCION DEL DISTRITO DE SAN MARTÍN DE PORRES

El distrito de San Martín de Porres se encuentra ubicado al Nor-Oriente del Departamento de Lima; entre las cuencas del Río Rímac y el río Chillón. Forma parte del área interdistrital de Lima Norte, conformado por ocho distritos.

Los límites del Distrito de San Martín de Porres son los siguientes:

- 41

Población:

La población actual del distrito de San Martín de Porres, según estimaciones oficiales del Instituto Nacional de Estadística (INEI) para el año 2013, alcanza a 673 149 habitantes.

Situación del servicio de agua en el distrito de San Martín de Porres:

En el distrito de San Martín de Porres la población se abastece de agua según se detalla en el cuadro adjunto de acuerdo al censo nacional realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) en el año de 2007.

Tabla Nº 4 Abastecimiento de Agua en San Martín de Porres

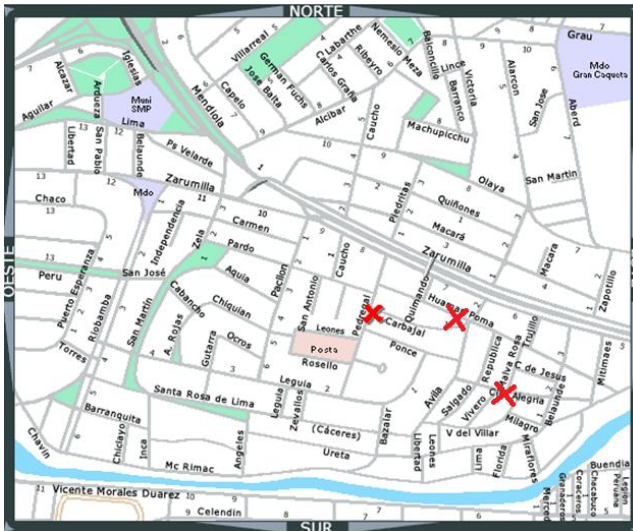
AREA # 150135	Dpto. Lima Prov. Lima Dist. San Martín de Porres		
Categorías	Casos	%	Acumulado %
Red pública Dentro de la viv. (Agua potable)	99,174	80,07	80,07
Red Pública Fuera de la vivienda	7,768	6,27	86,34
Pilón de uso público	1,801	1,45	87,79
Camión-cisterna u otro similar	12,632	10,20	97,99
Pozo	1,411	1,14	99,13
Río, acequia. manantial o similar	28	0,02	99,15
Vecino	647	0,52	99,68
Otro	402	0,32	100,00
Total	123,863	100,00	100,00

Fuente: <http://censos.inei.gob.pe/Censos2007/redatam/>

En el distrito de San Martín de Porres están clasificadas las poblaciones con los nombres de: Centros poblados, Centros urbanos informales, Urbanizaciones, Asociaciones de vivienda y cooperativas, Pueblos jóvenes y asentamientos humanos.

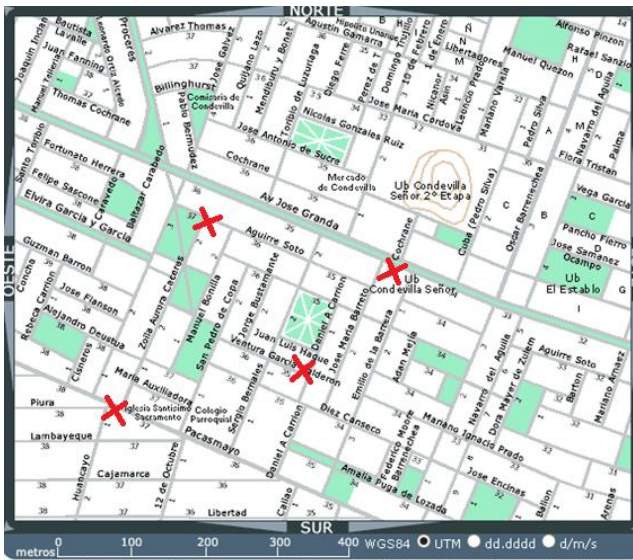
Mapas de muestreo en SMP

- Urbanización El Pedregal: 3 muestras de agua potable



Fuente: 1994-2014 (c) PC Guía, guiacalles.com

- Urbanización Condevilla: 4 muestras de agua potable



Fuente: 1994-2014 (c) PC Guía, guiacalles.com

- Urbanización Cesar Vallejo: 3 muestras de agua potable



Fuente: 1994-2014 (c) PC Guía, guiacalles.com

1.11 DESCRIPCION DEL DISTRITO DE MIRAFLORES

Información general sobre el distrito:

Se encuentra dentro de la ciudad de Lima, con una extensión de 9.62 kilómetros cuadrados y una población aproximada de 81.000 habitantes. Este distrito ocupa el segundo puesto en el Índice de Desarrollo Humano de los distritos del Perú, superado solo por el distrito de San Isidro.

Límites:

Los límites del Distrito de Miraflores son los siguientes:

- por el NORTE: limita con el distrito de San Isidro
- por el SUR: con el distrito de Barranco.
- por el ESTE: con los distritos de Surquillo y Santiago de Surco.
- por el OESTE: con el océano Pacífico en la Costa Verde.

Población:

La población actual del distrito de Miraflores, según estimaciones oficiales del Instituto Nacional de Estadística (INEI) para el año 2013 alcanza a 83 649 habitantes.

Situación del servicio de agua en el distrito de Miraflores:

En el distrito de Miraflores la población se abastece de agua según se detalla en el cuadro adjunto de acuerdo al censo nacional realizado por el INEI en

el año de 2007.

Tabla Nº 5 Abastecimiento de Agua en Miraflores

AREA # 150122	Dpto. Lima Prov. Lima Dist. Miraflores		
Categorías	Casos	%	Acumulado %
Red pública Dentro de la viv. (Agua potable)	24,097	86,33	86,33
Red Pública Fuera de la vivienda	3,762	13,48	99,81
Pilón de uso público	30	0,11	99,91
Vecino	16	0,06	99,97
Otro	8	0,03	100,00
Total	27,913	100,00	100,00

Fuente: <http://censos.inei.gob.pe/Censos2007/redatam/>

En el distrito de Miraflores están clasificadas las poblaciones con los nombres de urbanizaciones, las cuales se ubican en zonas territoriales.

Mapas de muestreo en Miraflores

- Urbanización Armendáriz: 3 muestras de agua potable



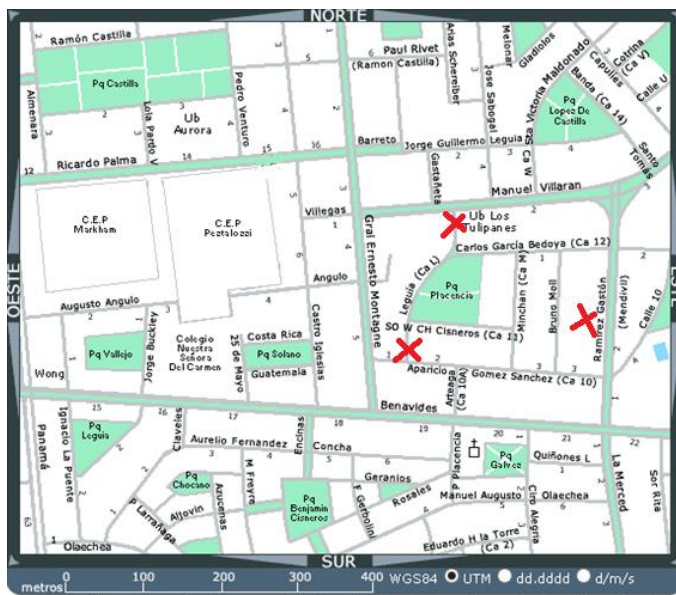
Fuente: 1994-2014 (c) PC Guía, guiacalles.com

- Urbanización Aurora: 4 muestras de agua potable



Fuente: 1994-2014 (c) PC Guía, guiacalles.com

- Urbanización Los Tulipanes: 3 muestras de agua potable



Fuente: 1994-2014 (c) PC Guía, guiacalles.com

1.12 ASPECTOS LEGALES

La norma más importante de la legislación en materia de recursos hídricos vigente hasta el año 2009 en el Perú, fue la Ley General de Aguas, Decreto Ley N° 17752 promulgada en julio de 1969, en los inicios del gobierno Militar que llevó adelante un proceso de reformas en la economía y la sociedad peruana.

Concebida como un complemento de la Ley de Reforma Agraria, la Ley General de Aguas estableció como norma fundamental que todas las aguas, sin excepción y cualquiera fuera su estado físico y ubicación, pertenecían al Estado, tomando clara distancia del hasta entonces vigente Código de Aguas de 1902. Esto implicaba un mayor responsabilidad por parte del Estado en la política y administración de los recursos hídricos, por eso es de destacar que la Ley General de Aguas estuvo vigente por casi 40 años.

Sin embargo la vigencia de una nueva constitución en 1993 y la aprobación de la Ley Orgánica de Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales, en 1997, llevaron a la necesidad de una revisión y modificación de esta ley.

Luego de varias modificaciones, finalmente en marzo de 2009 el Congreso aprobó la Ley de Recurso Hídricos, derogando la Ley General de Aguas.

Con respecto a la concentración permitida de cobre, las Normas internacionales para el agua potable de la OMS de 1958 sugirieron que concentraciones de cobre superiores a 1,5 mg/l afectarían notablemente a la potabilidad del agua. Las Normas internacionales de 1963 y 1971 conservaron este valor como concentración máxima admisible o permisible. En la primera edición de las Guías para la calidad del agua potable, publicada en 1984, se estableció un valor de referencia de 1,0 mg/l para el cobre basado en su capacidad de manchar la ropa lavada y otros materiales. En las Guías de 1993 se calculó un valor de referencia provisional basado en efectos sobre la salud de 2 mg/l para el cobre a partir de la MIDTP propuesta por el JECFA y basada en un estudio bastante antiguo en perros en el que no se tuvieron en cuenta las diferencias en el metabolismo del cobre entre lactantes y adultos. El valor de referencia se consideró provisional debido a las incertidumbres sobre la toxicidad del cobre para el ser humano. Este valor de referencia se mantuvo en el apéndice a las Guías publicadas en 1998 y

continuó siendo provisional debido a las incertidumbres sobre la relación dosis respuesta entre el cobre del agua de consumo y los efectos gastrointestinales agudos en las personas. Por esta razón el límite máximo de este ión en el agua potable ha sido fijado por la OMS (y para los estándares europeos) en 2mg/l; siendo esta cifra, relativamente elevada, ya que según se expresa las mismas guías para la calidad de agua de OMS (1993), “puede existir una sobreestimación de riesgo real, debido a la posible contribución de otros factores a la incidencia de esa enfermedad en la población y a posibles variaciones metabólicas dependientes de la dosis que no se tuvieron en cuenta”.

Por otro lado la EPA ha establecido una concentración máxima de 1,3 mg/L, que denomina nivel de acción; es decir, una concentración límite que sirve como un aviso para que los sistemas públicos de suministro de agua tomen medidas de tratamiento (si es necesario, adicionales) cuando los niveles de las muestras de agua superan en más de 10% los valores permitidos.

De ahí que cobra mayor importancia el resultado de estudios epidemiológicos que se están realizando en Chile, Suecia y los EE. UU. Ya que podrían permitir una cuantificación más exacta de las concentraciones de cobre que producen toxicidad en las personas, incluidas las de subgrupos de población sensibles.

Ante esta incertidumbre propia de la metodología aplicada se llevó a cabo en Lima la Reunión Regional sobre la Calidad de Agua Potable organizada por la Organización Panamericana de la Salud (OPS), donde se recomendó que antes de revisar o actualizar una norma o adoptar nuevos límites se efectúen estudios sobre la concentración de cobre en agua de consumo humano locales que complementen las investigaciones realizadas en otras latitudes. (37).

Todo lo cual llevó que a nivel nacional durante varios años se haya recomendado la Norma Técnica Peruana 214.003 (1987) de INDECOPI, a pesar de no tener carácter legal, la cual establece una concentración máxima de cobre en agua de consumo humano de 1mg /L, medida que NO se ratifica en el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, aprobado por decreto supremo DS N° 031-2010-SA, el año 2010 en el gobierno de Alan García, debido a que establece una concentración máxima de cobre en agua de consumo humano de 2mg /L, el doble del valor especificado en la Norma Técnica Peruana, por lo tanto

queda pendiente realizar más estudios sobre la concentración de cobre en agua de consumo para rechazar o aceptar los límites recomendados internacionalmente. (69, 70).

II. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 OBTENCION Y RECOLECCION DE LA MUESTRA

2.1.1 Diseño del muestreo

Para fines del análisis, se utilizó el tipo de muestreo aleatorio simple, teniendo en cuenta todos los factores necesarios a fin de asegurar que las muestras fueran representativas (37).

Se realizaron tres muestreos con intervalos de 7 días, siendo el primer muestreo del martes 8 de octubre al miércoles 9 de octubre (2013) y el ultimo del miércoles 20 de noviembre al jueves 22 de noviembre (2013). De cada punto de muestreo se tomó una muestra, aproximadamente en horas de la mañana (8 am). Se tomaron 10 muestras del distrito de Puente Piedra, 10 muestras de San Martín de Porres y 10 muestras de Miraflores, teniendo al final un total de 30 muestras.

Para la obtención de las muestras de agua, se utilizaron frascos de polietileno con capacidad de un litro; químicamente limpios y adecuadamente secos.

2.1.2 Cuidados especiales

Para la cuantificación de metales se debe tener especial cuidado en la toma de muestra, en el almacenamiento de las muestras, en la limpieza del material de vidrio y en la preparación de reactivos, con la finalidad de reducir al mínimo los errores. Los frascos utilizados para el almacenamiento de las muestras fueron de polietileno, y fueron lavados y enjuagados de la siguiente manera:

- a) Se lavaron con solución de detergente especial para limpieza de material de polietileno.
- b) Se enjuagaron con abundante agua para remover los residuos de detergente.
- c) Se colocaron los frascos en una solución de ácido nítrico 68% peso/peso y densidad $1,4 \text{ g/cm}^3$. Se dejó los frascos en el baño con ácido durante 24 horas.
- d) Se volvieron a enjuagar con agua desmineralizada o bidestilada por cinco veces.
- e) Se dejaron secar en estufa destinada para este fin.

Los materiales utilizados en el análisis de trazas de metales tales como frascos para almacenar los reactivos, matraces Erlenmeyer, pipetas, probetas y otros materiales siguieron el mismo procedimiento de limpieza siendo estos materiales

utilizados solo para análisis de metales por espectrofotometría de absorción atómica. (47)

2.1.3 Preservación de muestras

Diversas cuestiones acerca de la preservación de trazas de metales están resurgiendo porque los riesgos a la salud asociados con ciertos metales continúan arrojando reportes de límites mínimos.

Las muestras en las cuales se va a analizar metales totales deben ser acidificadas a pH 2 por adición de ácido nítrico de alta pureza para minimizar la adsorción de metales en las paredes del envase. Las concentraciones en aguas no acidificadas pueden disminuir si la muestra se conserva por más de dos semanas (47, 70, 71).

En nuestro caso un volumen de 1,5 mL de ácido nítrico 68% peso/peso y densidad 1,4 g/cm³ por cada litro de muestra fue suficiente para alcanzar el pH deseado. La acidificación de las muestras de agua vuelve a solubilizar los metales que pueden haber precipitado de la solución. La preservación de muestras de metales en aguas por acidificación a un pH menor de 2 efectivamente estabiliza la concentración del metal por 180 días.

Después de la acidificación, las muestras se mantuvieron en refrigeración a 4 °C para prevenir la pérdida de volumen por evaporación. (47, 70, 71)

2.2 ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS

Análisis preliminar: análisis organoléptico

- Muestras provenientes del distrito de Puente Piedra:
Color: incoloro
Olor: inoloro
Aspecto: líquido homogéneo.
- Muestras provenientes del distrito de San Martín de Porres:
Color: incoloro
Olor: inoloro
Aspecto: líquido homogéneo.
- Muestras provenientes del distrito de Miraflores

Color: incoloro

Olor: inoloro

Aspecto: líquido homogéneo.

2.3 MATERIALES, REACTIVOS Y EQUIPOS.

La determinación de cobre se realizó en la Unidad de Servicios de Análisis Químicos (USAQ), Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, utilizando el Espectrofotómetro de Absorción Atómica marca *SHIMADZU*, modelo AA-6800.

La determinación de pH se realizó utilizando el potenciómetro de marca *THERMO ELECTRO CORPORATION* modelo *ORION 3 STAR*.

2.3.1) Materiales

- Vasos de precipitado de vidrio clase A de 150 mL
- Matraces aforados de vidrio clase A de 50 mL y 100mL
- Pipetas aforadas de vidrio clase A de 1mL y 5mL
- Micropipetas de 25 μ L
- Micropipetas de 100 μ L – 1000 μ L.
- Lunas de reloj de vidrio clase A
- Embudos de vidrio clase A
- Envases de polietileno de 500 mL
- Papel Filtro Grado 40, *WHATMAN®*

2.3.2) Reactivos

- Estándar de cobre, solución 100 mg/L en ácido nítrico grado A.C.S. marca Merck
- Agua ultrapura para análisis marca Merck
- Ácido nítrico ultrapuro para análisis marca Merck
- Ácido nítrico concentrado 65% - 75%, grado A.C.S. marca Merck

2.3.3) Equipos

- Equipo de absorción atómica *SHIMADZU AA-6800*
- Lámpara de cátodo hueco para determinación de cobre
- Campana Extractora
- Balanza analítica marca *Ohaus Analytical Plus*
- Balón de Aire Acetileno, de 99,999% de pureza
- Potenciómetro *THERMO ELECTRO CORPORATION ORION 3 STAR*

2.3.4) Muestras

- Muestras de agua potable del distrito de Puente Piedra recolectadas en 10 puntos
- Muestras de agua potable del distrito de San Martín de Porres recolectadas en 10 puntos
- Muestras de agua potable del distrito de Miraflores recolectadas en 10 puntos

2.4 TECNICA OPERATORIA

2.4.1 Preparación de la muestra

Se tomó 100 mL de muestra de agua potable previamente filtrada para la lectura correspondiente.

2.4.2 Preparación de estándares:

- Para preparar el estándar patrón de cobre, 50 mg/L, se midió 5 mL del estándar certificado de 1000 mg/L y se llevó a una fiola de 100 mL, luego se enrasó con agua ultrapura. Luego se preparó un estándar de 10 mg/L y se midió 10 mL a partir del estándar de 50 mg/L en una fiola de 100 mL. El estándar tiene una duración de 6 meses. A partir de esta concentración se prepararon los estándares de 0,5 / 1 / 1,5 / 2 mg/L.
- Estándar de cobre, 0,5 mg/L: se midió 5 mL del estándar de 10 mg/L y luego se llevó a una fiola de 100 mL, para enrasar con el diluyente. Este estándar tiene una duración de 3 meses.
- Estándar de cobre, 1 mg/L: se midió 5 mL del estándar de 10 mg/L y luego se

llevó a una fiola de 50 mL, para enrasar con el diluyente. Tiene una duración de 1 semana.

d) Estándar de cobre, 1,5 mg/L: se midió 15 mL del estándar de 10 mg/L y luego se llevó a una fiola de 100 mL, para enrasar con el diluyente. Se tiene que preparar diariamente.

e) Estándar de cobre, 2 mg/L: se midió 20 mL del estándar de 10 mg/L y luego se llevó a una fiola de 100 mL, para enrasar con el diluyente. Se tiene que preparar diariamente.

2.4.3 Medición:

a) Se prendió el equipo de absorción atómica *SHIMADZU* AA-6800, y la computadora, se colocó la lámpara de cátodo hueco de cobre. Siguiendo el procedimiento de operación de flama, se calibró el instrumento con la lámpara de cobre, asegurando el alineamiento del quemador con la tarjeta, antes de iniciar la corrida analítica.

b) Condiciones instrumentales para el análisis de cobre por flama:

Longitud de Onda (nm)	283,3
Slit (nm)	0.5
Lámpara	Cátodo Hueco con corrección de fondo (background)
Corriente de Lámpara (mA)	12
Medida de señal	Área del pico (A- Cu)

2.5 MÉTODO ANALÍTICO EMPLEADO

Método Espectrométrico de Absorción Atómica con Flama

Fundamento: La técnica se basa en la medida de la radiación absorbida por los átomos libres en su estado fundamental. Para que esto ocurra la muestra pasa por un proceso de atomización electrotérmica utilizando una resistencia eléctrica. Estos átomos libres, formados a partir de un estado

energético inferior a otro superior, absorben una radiación de energía de onda específica emitida por una lámpara que contiene un cátodo. La diferencia entre energía incidente y la transmitida se recoge en un detector, permitiendo realizar la determinación cuantitativa del elemento. (47, 70, 71, 72, 73, 74).

Parámetros de edición

Edit Parameters

Comment | QA/QC Setup | Atomizer/Gas Flow Rate Setup | Weight Correction Factors | Y-axis Print Range | Analyst
Optics Parameters | Sequence | Repeat Measurement Conditions | Measurement Parameters | Calibration Curve Parameters

Cu

Wavelength:
(190.0 - 900.0 nm)

Slit Width (nm):

Lamp Mode:

Socket #:

If you click on the Lamp Pos. Setup button, you can turn the lamp turret manually and change the lamp.

Lamp ID:

Lamp ON: ☒

Lamp Status:

Lamp Current
Low:
(0 - 40 mA)
High:
(0 - 600 mA)

ASC Sample Pos. for EMISSION Line Search:

- Se programó la calibración y chequeó la curva de calibración.
- Luego se programó el análisis de las muestras y se constató los resultados.

Resultados de las absorbancias:

Abs	Conc ($\mu\text{g/L}$)
0,0668	0,5
0,1348	1,0
0,2004	1,5
0,2668	2,0

2.6 OBTENCIÓN DE CURVA DE CALIBRACIÓN

Estándar patrón de Cobre de 1 ppm: se tomó 25 μL de la solución estándar Cobre de 1000 ppm, se le colocó en una fiola de 25 mL conteniendo agua ultrapura y se aforó.

Tabla N°6 Preparación de los estándares de la Curva de Calibración

Concentración del estándar ($\mu\text{g/L}$)	Volumen del estándar patrón de 1 mg/L de Cobre (μL)	Volumen de HNO_3 concentrado (μL)	Se aforó la fiola de 25 mL con agua ultrapura
0	0	750	
4	100	750	
12	300	750	
20	500	750	

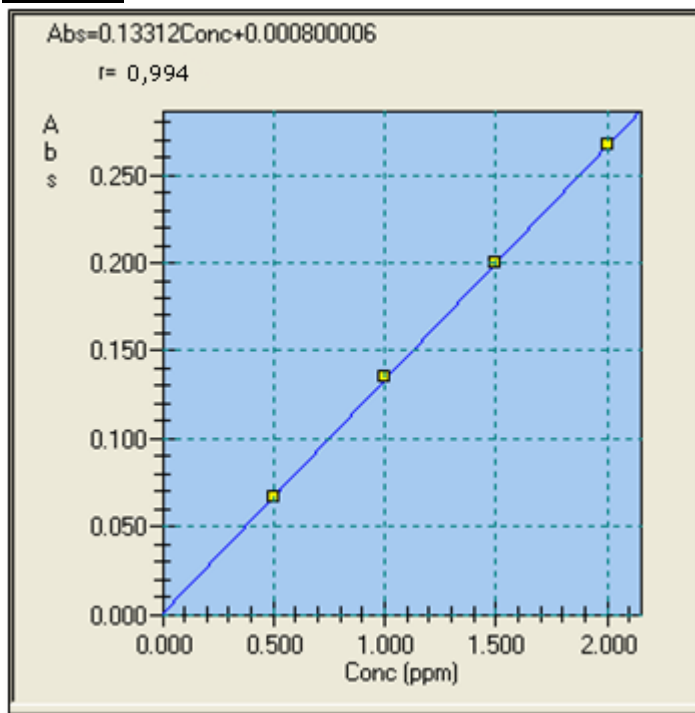
Curva de Calibración

Se colocó los estándares de calibración en los viales de muestra debidamente identificados y se llevó a cabo el programa para la lectura de la absorbencia descrito anteriormente.

Tabla N° 7 Curva de Calibración

CONCENTRACIÓN DEL ESTÁNDAR COBRE (µg/L)	ABSORBANCIA
0,5	0,0668
1,0	0,1348
1,5	0,2004
2,0	0,2668

Grafica:



2.7 DETERMINACION DE pH:

2.7.1 Fundamento del método potenciométrico

El método se fundamenta en la medida del cambio de potencial del electrodo de calomel sumergido en la muestra, por comparación contra soluciones buffer, cuyos valores son asignados por el *Nacional Institute of Standards and Technology (NIST)*.

2.7.2 Técnica operatoria:

Para la determinación de pH, se procedió como sigue:

- La recolección de las muestras y almacenaje de las mismas se realizó en frascos de polietileno limpios que fueron abiertos al momento del análisis.
- Se limpió el electrodo con agua destilada.
- Luego se encendió el potenciómetro.
- Se estandarizó el potenciómetro con dos soluciones buffer para verificar la linealidad en la respuesta del electrodo. Primero con el buffer de pH 7 y luego con el buffer de pH 4.
- Una vez calibrado el equipo se lavó el electrodo con agua destilada, se secó y se introdujo en la muestra a medir (agua potable), una vez que se estabilizó se toma el valor que muestra el potenciómetro. Por cada muestra se realizó el ensayo por duplicado.
- Finalmente se apagó el potenciómetro, se lavó el electrodo con agua destilada y se cubrió con el protector. (47, 70, 71, 75, 76, 77)

III. RESULTADOS

CUADRO Nº 1 Distribución de las muestras de agua según su procedencia

PROCEDENCIA	n
Agua proveniente de PUENTE PIEDRA	10
Agua proveniente de SMP	10
Agua proveniente de MIRAFLORES	10
TOTAL	30

Según el método de espectrofotometría de absorción atómica por flama se obtuvieron los siguientes resultados:

CUADRO Nº 2 Resultados generales de cobre y pH en agua de consumo humano del distrito de Puente Piedra

Nº	Procedencia del Agua	Lugar de Muestreo	Código	Concentración de Cobre (µg/L)	pH
1	SEDAPAL	AA.HH. Zapallal Alto II Etapa	AP-PP-001	N.D.	7,67
2	SEDAPAL	AA.HH. Zapallal Alto II Etapa	AP-PP-002	N.D.	7,77
3	SEDAPAL	AA.HH. Zapallal Alto II Etapa	AP-PP-003	N.D.	7,74
4	SEDAPAL	AA.HH. Zapallal Alto II Etapa	AP-PP-004	N.D.	7,78
5	SEDAPAL	AA.HH. Fundo Flores	AP-PP-005	N.D.	7,93
6	SEDAPAL	AA.HH. Fundo Flores	AP-PP-006	N.D.	7,69
7	SEDAPAL	AA.HH. Fundo Flores	AP-PP-007	N.D.	7,75
8	SEDAPAL	AA.HH. Alameda del N	AP-PP-008	N.D.	7,66
9	SEDAPAL	AA.HH. Alameda del N	AP-PP-009	N.D.	7,73
10	SEDAPAL	AA.HH. Alameda del N	AP-PP-010	N.D.	7,58
			n=10	-	$\bar{X}=7,730$

Leyenda:

N = Número de muestras
 \bar{X} = Media aritmética

CUADRO Nº 3 Resultados generales de cobre y pH en agua de consumo humano del distrito de San Martín De Porres

Nº	Procedencia del Agua	Lugar de Muestreo	Código	Concentración de Cobre (µg/L)	pH
1	SEDAPAL	Urbanización Pedregal	AP-SMP-001	N.D.	7,51
2	SEDAPAL	Urbanización Pedregal	AP-SMP-002	N.D.	7,18
3	SEDAPAL	Urbanización Pedregal	AP-SMP-003	N.D.	7,50
4	SEDAPAL	Urbanización Condevilla	AP-SMP-004	N.D.	7,58
5	SEDAPAL	Urbanización Condevilla	AP-SMP-005	N.D.	7,55
6	SEDAPAL	Urbanización Condevilla	AP-SMP-006	N.D.	7,74
7	SEDAPAL	Urbanización Condevilla	AP-SMP-007	N.D.	7,48
8	SEDAPAL	Urbanización Cesar V.	AP-SMP-008	N.D.	7,62
9	SEDAPAL	Urbanización Cesar V.	AP-SMP-009	N.D.	7,66
10	SEDAPAL	Urbanización Cesar V.	AP-SMP-010	N.D.	7,58
			n=10	-	$\bar{X} = 7,543$

Leyenda:

N = Número de muestras
 \bar{X} = Media aritmética

CUADRO Nº 4 Resultados generales de cobre y pH en agua de consumo humano del distrito de Miraflores

Nº	Procedencia del Agua	Lugar de Muestreo	Código	Concentración de Cobre (µg/L)	pH
1	SEDAPAL	Urbanización Armendáriz	AP-MIR-001	N.D.	7,49
2	SEDAPAL	Urbanización Armendáriz	AP-MIR-002	N.D.	7,63
3	SEDAPAL	Urbanización Armendáriz	AP-MIR-003	N.D.	7,31
4	SEDAPAL	Urbanización Aurora	AP-MIR-004	N.D.	7,46
5	SEDAPAL	Urbanización Aurora	AP-MIR-005	N.D.	7,38
6	SEDAPAL	Urbanización Aurora	AP-MIR-006	N.D.	7,59
7	SEDAPAL	Urbanización Aurora	AP-MIR-007	N.D.	7,47
8	SEDAPAL	Urbanización Los Tulipanes	AP-MIR-008	N.D.	7,36
9	SEDAPAL	Urbanización Los Tulipanes	AP-MIR-009	N.D.	7,49
10	SEDAPAL	Urbanización Los Tulipanes	AP-MIR-010	N.D.	7,35
			n=10	-	$\bar{X} = 7,453$

Leyenda:

N = Número de muestras
 \bar{X} = Media aritmética

ANALISIS ESTADISTICO

Se calculó la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación porcentual de las muestras agrupadas por lugar.

Resultados

pH - Estadística descriptiva

CUADRO Nº 5

TOMA DE MUESTRA	Nº	$\bar{X} \pm ES$	DE	CV%	VALORES EXTREMOS
Agua de Puente Piedra	10	7,730 \pm 0,0293	0,0926	1,2 %	7,58 – 7,93
Agua de SMP	10	7,543 \pm 0,0475	0,1502	1,99 %	7,18 – 7,74
Agua de Miraflores	10	7,453 \pm 0,033	0,1045	1,4 %	7,31 – 7,63
TOTAL	30	7,5753 \pm 0,0299	0,1638	2,16 %	7,18 – 7,93

LEYENDA:

Nº = Número de muestras
 \bar{X} = Media aritmética
 ES = Error estándar
 DE = Desviación estándar
 CV% = Coeficiente de Variación Porcentual

CUADRO Nº 6 Comparación de medias de pH por el parámetro T de Student entre el agua de Puente Piedra y el agua de San Martín de Porres

	pH agua Puente Piedra	pH agua SMP	Valor estadístico t	IC	Prueba T (0,05; 18)
\bar{X}	7,73	7,543	3,3545	95%	1,734
S	0,0926	0,1502			
N	10	10			

El valor estadístico t es mayor que el valor de prueba T lo que permite deducir que los valores de pH de las muestras del agua del distrito de Puente Piedra son significativamente más altas que las del distrito de San Martín de Porres.

CUADRO Nº 7 Comparación de medias de pH por el parámetro T de Student entre el agua de Puente Piedra y el agua de Miraflores

	pH agua Puente Piedra	pH agua Miraflores	Valor estadístico t	IC	Prueba T (0,05;18)
X	7,73	7,453	6,27	95%	1,734
S	0,0926	0,1045			
N	10	10			

El valor estadístico t es mayor que el valor de prueba T lo que permite deducir que los valores de pH de las muestras del agua del distrito de Puente Piedra son significativamente más altas que las del distrito de Miraflores.

CUADRO Nº 8 Comparación de medias de pH por el parámetro T de Student entre el agua de San Martín de Porres y el agua de Miraflores

	pH agua SMP	pH agua Miraflores	Valor estadístico t	IC	Prueba T (0,05;23)
X	7,543	7,453	1,56	95%	1,734
S	0,1502	0,1045			
N	10	10			

El valor estadístico t no es mayor que el valor de prueba T lo que significa que hay insuficiente evidencia para indicar la relación entre los valores de pH de las muestras de agua del distrito de San Martín de Porres y Miraflores.

CUADRO Nº 9 Distribución de muestras que superan el límite permisible por el reglamento de la calidad del agua para consumo humano (2 mg/l de cobre) y la NTP 214.003 (1 mg/l de cobre) según el lugar de procedencia

Tipo de Agua	Nº total de muestras	Nº de muestras que superan el límite del Reglamento C.	Nº de muestras que superan el límite del NTP
Agua de Puente Piedra	10	0	0
Subtotal	100%	0%	0
Agua de SMP	10	0	0
Subtotal	100%	0%	0%
Agua de Miraflores	10	0	0
Subtotal	100%	0%	0%
Total Muestras	30	0	0
Total	100%	0%	0%

IV. DISCUSIÓN

Los resultados de este trabajo de investigación han determinado la concentración de cobre en mg/L y el pH de agua de consumo humano, en 30 muestras provenientes de diferentes zonas de los distritos de Puente Piedra, San Martín de Porres y Miraflores; en tal sentido se puede apreciar en el cuadro N° 1: que el 33,3% (10 muestras) corresponden a las muestras de agua de consumo humano proveniente del distrito de Puente Piedra, el 33,3% (10 muestras) corresponden a las muestras de agua de consumo humano proveniente del distrito de San Martín de Porres y el 33,3% (10 muestras) corresponden a las muestras de agua de consumo humano proveniente del distrito de Miraflores.

Según el cuadro N° 2, donde se detalla los valores de concentración de cobre en agua de consumo humano proveniente del distrito de Puente Piedra, se observa que la concentración de cobre de todas las muestras no es detectable por debajo del límite de detección de 0,05 mg/L de cobre.

Según el cuadro N° 3, donde se detalla los valores de concentración de cobre en agua de consumo humano proveniente del distrito de San Martín de Porres, se observa que la concentración de cobre de todas las muestras no es detectable por debajo del límite de detección de 0,05 mg/L de cobre.

Según el cuadro N° 4, donde se detalla los valores de concentración de cobre en agua de consumo humano proveniente del distrito de Miraflores, se observa que la concentración de cobre de todas las muestras no es detectable por debajo del límite de detección de 0,05 mg/L de cobre.

Por lo tanto se observa que el 100 % del total de muestras analizadas de agua, ninguna se encuentra por encima del límite máximo permisible dados por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y por la NTP 214.003 1987. (1)

Estos valores promedio obtenidos en estos distritos de Lima no superan el límite permisible establecido por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, por la Organización Mundial de la Salud (OMS) o por la

norma técnica peruana 214.003, y contrastan con otros estudios realizados como el de SENAMHI el año 2007, el cual en el río Rímac, en el sector de San Mateo se registró una concentración de 2,39 mg/L, o el de Huaranga y cols., que en las aguas del río Moche encontraron desde 6,9 mg / L (año 1980) hasta 1,19 mg/L (año 2010) de cobre, regiones en las que más probablemente esté ocurriendo una intoxicación crónica.

Por otro lado en el cuadro N° 5 se encuentran los datos de la medida promedio de pH en muestras de agua según el lugar de procedencia, donde el promedio de pH de las muestras para el distrito de Puente Piedra es de 7,73 (cifras extremas de 7.58 y 7.93).

El promedio de pH de las muestras para el distrito de San Martín de Porres es de 7,543 (cifras extremas de 7.18 y 7.74).

El promedio de pH de las muestras para el distrito de Miraflores es de 7,453 (cifras extremas de 7,31 y 7,63).

En el cuadro N° 6 se realizó una comparación de medias utilizando la prueba estadística T de Student, en la que el valor estadístico T resultó ser de 3,3545, valor mayor que el de la prueba T (1,734), estableciendo por lo tanto una diferencia significativa en la calidad de agua con respecto al promedio de pH entre el agua proveniente del distrito de Puente Piedra y el agua proveniente del distrito de San Martín de Porres.

En el cuadro N° 7 se realizó una comparación de medias utilizando la prueba estadística T de Student, en la que el valor estadístico T resultó ser de 6,27, valor mayor que el de la prueba T (1,734), estableciendo por lo tanto una diferencia significativa en la calidad de agua con respecto al promedio de pH entre el agua proveniente del distrito de Puente Piedra y el agua proveniente del distrito de Miraflores.

En el cuadro N° 8 se realizó una comparación de medias utilizando la prueba estadística T de Student, en la que el valor estadístico T resultó ser de 1,56, valor mayor que el de la prueba T (1,734), estableciendo por lo tanto que no hay diferencia significativa en la calidad de agua con respecto al promedio de pH entre el agua proveniente del distrito de San Martín de

Porres y el agua proveniente del distrito de Miraflores.

El límite de detección de cobre del equipo Espectrofotómetro de Absorción Atómica marca SHIMADZU, modelo AA-6800 es de 0,05 ppm de cobre lo que significa que por debajo de dicha concentración el ion cobre no podrá ser detectado, sin embargo gracias a que el límite máximo permisible de cobre según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (límite máximo permisible: 2 mg de cobre/L); según la Norma Técnica Peruana 214.003 (límite máximo permisible: 1 mg de cobre /L); y según la Organización Mundial de la Salud (límite máximo permisible: 2 mg de cobre /L) son muchos mayores que este límite de detección (0,05 ppm de cobre) es de esperar que las cantidades encontradas sirvan para evaluar si los limites permisibles fueron sobrepasados o no.

V. CONCLUSIONES

1. La concentración de cobre presente en el 100% de las muestras de agua de consumo humano provenientes de los distritos de Puente Piedra, San Martín de Porres y Miraflores no se detectó a un límite de cuantificación de 0,05 mg de cobre/L en comparación al límite máximo permisible dada por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (límite máximo permisible: 2 mg de cobre/L); al dado por la Norma Técnica Peruana 214.003 (límite máximo permisible: 1 mg de cobre /L); y al dado por la Organización Mundial de la Salud (límite máximo permisible: 2 mg de cobre /L)
2. El promedio de pH del agua de consumo humano proveniente del distrito de Puente Piedra es de 7,730; del distrito de San Martín de Porres es de 7,543 y del distrito de Miraflores es de 7,453; los cuales se encuentran dentro del rango recomendable documentado por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (pH 6,5 – 8,5); la NTP 214.003 1987 (pH 6,5 – 8,5) y de la OMS (pH 6,5 – 9,5).
3. La relación del nivel de pH con la concentración de cobre no se determinó debido a que no se detectó el cobre en las muestras analizadas.

VI. RECOMENDACIONES

- Dar a conocer a la población mediante campañas de información, la importancia de eliminar el primer chorro de agua de caño al inicio de cada día, para disminuir la posibilidad de intoxicarse con metales provenientes de la corrosión.
- Realizar este tipo de estudios en otros distritos de Lima Metropolitana para poder hacer un seguimiento de la calidad del agua de consumo humano con la que se abastece a los habitantes.
- Se recomienda al Ministerio de Salud realizar estudios epidemiológicos en los lugares con alto riesgo de corrosión, o en los que están próximos a centros mineros para establecer posibles riesgos de morbi-mortalidad por los diferentes riesgos asociados al cobre, ello permitirá adoptar criterios normativos ajustados a la realidad local.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Van Leeuwen FXR. Safe drinking water: the toxicologist's approach. Food Chem Toxicol 2000; Suppl 38:51-58.
2. Calderón RL. The epidemiology of Chemical Contaminants of Drinking Water. Food Chem Toxicol 2000; Suppl 38:13-20.
3. Banks E, Ferreti L, Schucard D. Effects of Low Level Lead Exposure on Cognitive Function in Children: A Review Of Behavioral, Neuropsychological and Biological Evidence. Neurotoxicology 1999; 18(1): 237-282.
4. Bucheim K, Stoltenburg-Didinger G, Lilienthal H, Winnike G. Miopathy: A possible effect of Chronic Low Level Lead Exposure. Neurotoxicology 1998; 19(4-5): 539-546.
5. Viaene M, Roels H, Leenders J, Goorf M, Swerts L, Lison D, Masschelein R. Cádmiun: A possible Etiological Factor in Peripheral Polyneuropathy. Neurotoxicology 1999; 20(1): 7-16.
6. Kreiss I. Cadmium contamination of the countryside, a case study on health effects. Toxicol Ind Health 1990; 6(5): 181-188.
7. Costa M. Carcinogenic metals. Sci Prog 1998; 81(4): 329-339.
8. Fu J, Huang X, Zhu X. Study on peripheral blood lymphocytes chromosome abnormality of people exposed to cadmium in environment. Biomed Environ Sci 1999; 12(1):15-19.
9. Staessen J, Roels H, Emelianov D, Kuznetsova T, Thijs L,

Vangronsveld J, Fagard R. Environmental exposure to cadmium, forearm bone density, and risk of fractures: prospective population study. Public Health and Environmental Exposure to Cadmium. Study Group. Lancet 1999; 3-353(9159): 1140-1144.

10. Hu H. Bone lead as a new biologic marker of lead dose: recent findings and implications for public health. Environ Health Perspect 1998; 106(4): 961-967.

11. Edwards M., Ferguson J., Reiber S., (1994) The pitting corrosion of copper; Journal American Water Works Association, July 1994.

12. Olivares M., Araya M., Pizarro F., Uauy R., (2001) Nausea Threshold in Apparently Healthy Individuals Who Drink Fluids Graded Concentrations of Copper; Regulatory Toxicology and Pharmacology 33, 1-5.

13. Olivares M., Araya M., Uauy R., (2000) Copper Homeostasis in Infant Nutrition: Deficit and Excess; Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition, 31: 102-111.

14. Haring B.J.A., (1997) Copper in Drinking and Surface Water. In Advances in Risk Assessment of Copper in the Environment, Editors G.E. Lagos & R. Badilla-Ohlbaum, Chile.

15. Martínez Arroyo M. Evolución del contenido en partículas totales en suspensión y en los metales, plomo, cinc, cadmio, cobre, hierro y manganeso, en el aerosol atmosférico de Cartagena, durante el periodo 1995-2000. [Tesis doctoral]. Cartagena: Comisión de doctorado. Universidad Politécnica de Cartagena; 2006.

16. Moreno-Grau, M. D. Toxicología Ambiental. Evaluación de riesgo para la salud humana. Madrid: McGraw-Hill; 2003.

17. Hidalgo J, Vera R, Rosales B, Araya R, Schrebler R. Efecto de la luz UV en la corrosión de cobre en ambiente marino. CONAMET. 2008; 109 (16): 200- 206.
18. Paz Pinilla C. Corrosión del cobre en medio ácido y su inhibición mediante compuestos cíclicos nitrogenados. [Tesis doctoral]. Madrid: Comisión de doctorado. Universidad Complutense de Madrid; 2002.
19. Julve E. Un fenómeno corrosivo deseable: la atractiva pátina verde de los edificios nórdicos y centroeuropeos. An. Quím. (Barc) 2006; 102(4): 68-72.
20. Rosario Francia S, Yacono Llanos JC, Materiales: la corrosión, su tradición y alcances. Rev. Inst. Investig. Fac. Minas Metal Cienc. Geogr 2003; 6 (11) : 71-77.
21. CEPIS/OPS-OMS. Calidad del agua. Normas Internacionales para la Calidad del Agua de Bebida. [en línea] 2013, enero 20 [fecha de acceso el 20/01/2014] URL disponible en: <http://www.cepis.ops.oms.org/eswww/caliagua/norminte.html>
22. Calderon Morales A. Determinación de calcio, cobre, hierro, magnesio, manganeso, plomo, pH, acidez y sulfatos en agua de relave provenientes de la laguna de Quiulacocha. [Tesis para optar el grado de químico farmacéutico]. Lima: Facultad de Farmacia y Bioquímica. Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 1998.
23. Dirección general de usos del agua y prevención de la contaminación, Memoria del curso: “Microbiología y aplicaciones en los procesos biológicos de tratamiento de aguas”. Subdirección de investigación y entrenamiento eds. México D.F., 1983: 10-4

24. Riedel GF. 2008. Copper. *Ecotoxicol*, 778-783.
25. C Buchanan SD, Diseker RA 3rd, Sinks T, Olson DR, Daniel J y Flodman T. 1999. Copper in drinking water, Nebraska, 1994. *Int J Occup Environ Health*, 5: 256-261.
26. C Gunay N, Yildirim C, Karcioğlu O, Gunay NE, Yilmaz M, Usalan C, Kose A y Togun I. 2006. A series of patients in the emergency department diagnosed with copper poisoning: recognition equals treatment. *Tohoku J Exp Med*, 209: 243-248.
27. Eddleston M y Bateman DN. 2007. Pesticides. *Medicine*, 35: 646-648.
28. Uriu-Adams JY y Keen CL. 2005. Copper, oxidative stress and human health. *Mol Aspects Med*, 26: 268-298.
29. Vicent A, Armengol J y García – Jiménez J. 2009. Protectant activity of reduced concentration of copper sprays against *Alternaria* brown spot on “Fortune” mandarin in Spain. *Crop Prot.*, 28: 1-6.
30. Rotilio G, Carri MT, Rossi L y Ciriolo MR. 2000. Copper-dependent oxidative stress and neurodegeneration. *IUBMB Life*, 50: 309-314.
31. De la Cruz D, Cruz A, Arteaga M, Castillo L y Tovalín H. 2005. Blood copper levels in Mexican users of the T380A IUD. *Contraception*, 72: 122-125.
32. Leary SC, Cobine PA, Kaufman BA, Guercin GH, Mattman A, Palaty J, Lockitch G, Winge DR, Rustin P, Horvath R y Shoubridge EA. 2007. The human cytochrome c oxidase assembly factors SCO1 and SCO2 have

regulatory roles in the maintenance of cellular copper homeostasis. *Cell Metab*, 5: 9-20.

33. Beshgetoor D y Hambidge M. 1998. Clinical conditions altering copper metabolism in humans. *Am J Clin Nutr*, 67: 1017S-1021S.

34. Nemery B. 1990. Metal toxicity and the respiratory tract. *Eur Respir J*, 3: 202-219.

35. Winge DR y Mehra RK. 1990. Host defenses against copper toxicity. *Int Rev Exp Pathol*, 31: 47-83.

36. WHO. Guidelines for drinking – water quality. 2da Ed. Vol. II. Genev. (1996).

37. Pandit A y Bhawe S. 1996. Present interpretation of the role of copper in Indian childhood cirrhosis. *Am J Clin Nutr*, 63: 830S-835S.

38. Gaetke LM y Chow CK. 2003. Copper toxicity, oxidative stress, and antioxidant nutrients. *Toxicology*, 189: 147-163.

39. Hostynek JJ y Maibach HI. 2003. Copper hypersensitivity: dermatologic aspects-an overview. *Rev Environ Health*, 18: 153-183.

40. Tanner MS. 1998. Role of copper in Indian childhood cirrhosis. *Am J Clin Nutr*. 67:1074S-1081S.

41. Linder MC. 2001. Copper and genomic stability in mammals. *Mutat Res*, 475: 141-152.

42. Muller PAJ y Klomp LWJ. 2009. ATOX1: A novel copper – responsive transcription factor in mammals. *Int J Biochem Cell B*, 41: 1233-1236.

43. Barceloux DG. 1999. Copper. *J Toxicol Clin Toxicol*, 37: 217-230.
44. Huster D, Kühn HJ, Mössner J y Caca K. 2005. Wilson disease. *Internist*, 46: 731-732.
45. Zerounian NR y Linder MC. 2002. Effects of copper and ceruloplasmin on iron transport in the Caco 2 cell intestinal model. *J Nutr Biochem*, 13: 138-148.
46. Echegaray M, Hinojosa I, Ormeño D, Taipe L. "Contaminación por cobre en el Litoral Sur del Perú". [Trabajo de Investigación]. Lima: Univesidad Nacional Federico Villareal, 1990. 24 p
47. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. "Análisis de Metales en Agua Potable y Residual por Espectrofotometría de Absorción Atómica" Lima, 1995: 1-2, 26-30
48. Thomas C y Oates PS. 2003. Copper deficiency increases iron absorption in the rat. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol*, 285: G789-795.
49. Campbell JD. 2001. Lifestyle, minerals and health. *Med Hypotheses*, 57: 521-531.
50. Puig S y Thiele DJ. 2002. Molecular mechanisms of copper uptake and distribution. *Curr Opin Chem Biol*, 6: 171-180.
51. Halliwell B y Guteridge JMC. *Free radicals in Biology and Medicine*, Third Edition. Oxford Science Publications, 1999.
52. Gupte A y Mumper RJ. 2009. Elevated copper and oxidative stress in cancer cells as a target for cancer treatment. *Cancer Treat Rev*, 35:

32-46.

53. Valko M, Rhodes CJ, Moncol J, Izakovic M y Mazur M. 2006. Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress – induced cancer. Chem.

54. Ostrakhovitch EA, Lordnejad MR, Schliess F, Sies H y Klotz LO. 2002. Copper ions strongly activate the phosphoinositide-3-kinase/Akt pathway independent of the generation of reactive oxygen species. Arch Biochem Biophys, 397: 232-239.

55. Nawaz M, Manzl C, Lacher V y Krumschnabel G. 2006. Copper-induced stimulation of extracellular signal-regulated kinase in trout hepatocytes: the role of reactive oxygen species, Ca²⁺, and cell energetics and the impact of extracellular signal-regulated kinase signaling on apoptosis and necrosis. Toxicol Sci, 92: 464-475.

56. Steinberg D. 1997. Low density lipoprotein oxidation and its pathobiological significance. J Biol Chem, 272: 20963-10966.

57. Ferns GA, Lamb DJ y Taylor A. 1997. The possible role of copper ions in atherogenesis: the Blue Janus. Atherosclerosis, 133: 139-152.

58. Green-Ruiz C y Páez-Osuna F. 2001. Heavy metal anomalies in lagoon sediments related to intensive agriculture in Altata-Ensenada del Pabellón coastal system (SE Gulf of California). Environ Int, 26: 265-273.

59. Ziyatdinova GK, Voloshin AV, Gilmudinov AKh, Budnikov HC y Ganeev TS. 2006. Application of constant-current coulometry for estimation of plasma total antioxidant capacity and its relationship with transition metal contents. J Pharm Biomed Anal, 40: 958- 963.

60. Pocino M, Baute L y Malavé I. 1991. Influence of the oral administration of excess copper on the immune response. *Fundam Appl Toxicol*, 16: 249-256.
61. Elsabbagh HS y El-Tawil OS. 2000. Immunotoxicity of cupravit and previcur fungicides in mice. *Pharmacol Res*, 43: 71-76.
62. Turnlund JR, Jacob RA, Keen CL, Strain JJ, Kelley DS, Domek JM, Keyes WR, Ensunsa JL, Lykkesfeldt J y Coulter J. 2004. Long-term high copper intake: effects on indexes of copper status, antioxidant status, and immune function in young men. *Am J Clin Nutr*, 79:1037-1044.
63. Burrell R. 1993. Human immune toxicity. *Mol Aspects Med*, 14: 1-81
64. Calderón J, Ortiz-Pérez D, Yáñez L, y Díaz-Barriga F. 2003. Human exposure to metals. Pathways of exposure, biomarkers of effect, and host factors. *Ecotoxicol Environ Saf*, 56: 93-103.
65. Massaro, Edward J. 2002. Handbook of copper pharmacology and toxicology. Totowa, N.J.: Humana Press.
66. Boulay, N. y Edwards, M. 2000. Copper in the Urban Water Cycle. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 30 (3): 297-326.
67. Jiménez Serrano, C. e Idal Marín, V. M. Aspectos Nutricionales y Toxicológicos de algunos elementos minerales: Cobre, Hierro, Manganeseo y Zinc. Recurso electrónico disponible en: <http://www.uclm.es/ab/enfermeria/revista/numero%204/elementosminerales4.htm>. Consultado [6/08/2013].
68. INEI, Información sobre los censos en el Perú. Recurso electrónico disponible en: <http://censos.inei.gob.pe/Censos2007/redatam/>

69. Flores E. Determinación de arsénico, por absorción atómica, en agua de consumo humano proveniente de SEDAPAL, de cisterna y de pozo del distrito de Puente Piedra. Para optar al título profesional de Químico Farmacéutico: Universidad Nacional Mayor de San Marcos; Lima. 2009.
70. IPCS (1998) Copper. Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud, Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas (n.º 200 de la serie de la OMS Criterios de Salud Ambiental).
71. OMS, 2003: Copper in drinking-water. Documento de referencia para la elaboración de las Guías de la OMS para la calidad del agua potable. Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud (WHO/SDE/WSH/03.04/88).
72. Colomo M. "Especialización de Trazas de Metales Pesados en el Ambiente Acuático", Instituto Químico de Sarria eds. Madrid 1983: 2-24.
73. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. "Encuentro latinoamericano sobre residuos peligrosos y residuos mineros". Lima, 1986: 4-10.
74. González L. "Criterios Generales de Calidad de Agua (Abastecimiento público, preservación de la vida acuática, usos recreativos y agrícolas)". 2ª. Ed. Buenos Aires, 1982: 6-8.
75. Bender G. Métodos Instrumentales de análisis en química clínica. España, Editorial Acribia S.A. 1987, pag 115-123.
76. Manual de Toxicología Ocupacional, Chile, Ministerio de Salud 1979, pág. 19-25.

77. Equipo Técnico de Agua y Saneamiento. Calidad del Agua para consumo humano en Lima Metropolitana. Metales Pesados. DIGESA. Lima. 2006.

VIII. ANEXOS

- Resultado de análisis de la determinación de cobre y pH.
- Carta N° 381-2014-EGLA Informe de dosis de sulfato de cobre en la planta de La Atarjea Sedapal Lima Perú.